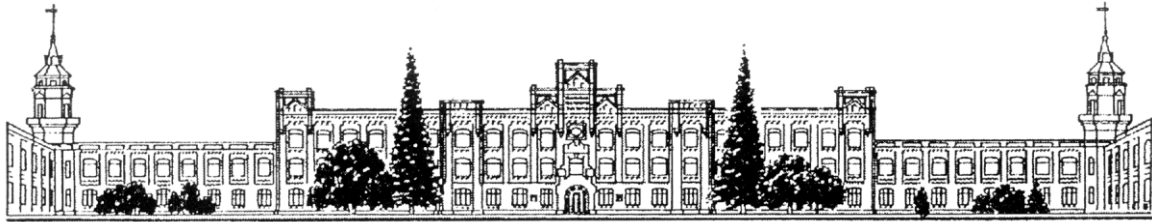


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**



ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка»,
спеціалізацією «Інжиніринг паковань та пакувального обладнання»,
за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування»,
спеціалізацією «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних
матеріалів і виробів»*

(денна форма навчання)

КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Технології композиційних матеріалів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання», за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування», спеціалізацією «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Є. Колосов. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,656 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 84 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №2 від 31.10.2019 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол №8 від 23.09.2019 р.)

Електронне мережне навчальне видання

**ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.
Лабораторний практикум**

Укладач: *Колосов Олександр Євгенович*, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний редактор: *Гондляр О.В.*, д-р техн. наук, проф.

Рецензенти: *Степанюк А.Р.*, канд. техн. наук, доцент

Призначення лабораторного практикуму – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії композиційних матеріалів шляхом самостійного експериментального дослідження технологічних аспектів виробництва реактопластичних полімерних композиційних матеріалів. Практикум містить описи 10 лабораторних робіт. Кожній групі робіт передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження. Для кожної роботи сформульована мета, перераховані матеріали, обладнання, прилади, необхідні для її виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних завдань. У кінці кожної лабораторної роботи подається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання до кожної представленої теми. Залежно від програми читаного курсу, оснащення лабораторії, наявності необхідних матеріалів викладач може вибирати (варіювати) відповідні теми, роботи і завдання.

ВСТУП

Даний лабораторний практикум призначений для підготовки та проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Технології композиційних матеріалів» (для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання», за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування», спеціалізацією «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів».

Призначення лабораторного практикуму – сприяти розвитку навичок самостійного експериментального дослідження структури, технологічних і експлуатаційних властивостей компонентів та композиційних матеріалів (КМ).

Практикум містить описи лабораторних робіт, розділених на чотири групи: наповнювачі, ненаповнені полімерні матеріали, термопластичні композиційні матеріали, інтенсифікуючі ультразвукові засоби.

Лабораторні роботи першої групи пов'язані з дослідженням фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей основних типів наповнювачів - волокнистих і дисперсних.

Друга група робіт присвячена дослідженню фізико-механічних і технологічних властивостей полімерних ненаповнених матеріалів, вивчення впливу на них факторів експлуатації.

Третя група робіт охоплює наповнені термореактивні полімерні матеріали та присвячена дослідженню впливу природи полімерних матеріалів та типів наповнювачів на структуру і властивості КМ, а також взаємодії їх компонентів.

Четверта група робіт присвячена знайомству з характеристиками і принципом роботи ультразвукового обладнання (на прикладі ультразвукової ванни моделі «УЗУ-0,25»), а також ультразвукового капілярного ефекту, що використовується, зокрема, при просоченні.

Кожній групі робіт передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, використовуваними в роботах, обґрунтовується вибір теми, об'єкта і методу дослідження.

Для кожної роботи сформульована мета, перераховані матеріали, обладнання, прилади, необхідні для її виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних завдань.

У кінці кожної лабораторної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання до кожної представленої теми.

Залежно від програми читаного курсу, оснащеності лабораторії, наявності необхідних матеріалів викладач може вибирати (варіювати) відповідні теми, роботи і завдання.

У кінці практикуму є додатки, в яких наводиться опис необхідних довідкових матеріалів.

МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета проведення лабораторних робіт – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи в лабораторії полімерних композиційних матеріалів.

Включення самостійної роботи студентів у навчальну програму в якості її основної складової частини потребує подальшого вдосконалення методики проведення лабораторних занять, підвищенню їх ефективності.

До кожного лабораторного заняття студент має виконати певний обсяг самостійної роботи, яка передбачена робочою навчальною програмою дисципліни “Технології композиційних матеріалів”. Основні теоретичні питання за темою заняття наводяться у методичному посібнику “Методичні вказівки до організації самостійної роботи з технології композиційних матеріалів та збірник індивідуальних завдань”.

Для якісного засвоєння теоретичного матеріалу необхідно виконати рекомендоване домашнє завдання до кожного розділу курсу. Заключним компонентом підготовки до лабораторного заняття є складання протоколу запланованих дослідів у зошиті для лабораторних робіт.

Безпосередньо перед виконанням дослідів у лабораторії викладач надає індивідуальні вихідні дані для проведення необхідних розрахунків при проведенні експериментальної частини лабораторної роботи. Оформлення звіту про виконання індивідуального лабораторного завдання сприяє розвитку у студентів самостійної ініціативи в роботі, формує вміння проводити необхідні порівняння та співставлення, знаходити взаємозв'язки окремих явищ, а також робити обґрунтовані висновки з проведених результатів досліджень.

Основні вимоги до роботи в лабораторії

1. До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які пред'явили протокол, складений самостійно, в окремому зошиті на 24 – 36 с. (“Зошит для лабораторних робіт з технології композиційних матеріалів”, прізвище, ім'я та по батькові, факультет, група).

У зошиті зазначається:

- а) номер лабораторної роботи, її назва;
- б) мета роботи;
- в) порядок її виконання.

2. Одержані при виконанні роботи експериментальні дані необхідно пред'явити викладачу для перевірки.

3. Закінчивши роботу, необхідно вимити хімічний посуд чи використовувані елементи лабораторного обладнання, привести в порядок робоче місце й приступити до обробки результатів та оформлення звіту.

4. Звіт, крім протоколу, повинен містити:

- а) формули для розрахунків;
- б) розрахунки шуканих величин;
- в) таблиці експериментальних та розрахованих даних, графіки на масштабно-координатному папері;
- г) висновки.

Звіт закінчується словами: Роботу виконав студент _____ (прізвище).

5. Після здачі звіту про виконану роботу студент отримує дозвіл на проведення наступної лабораторної роботи.

6. Лабораторні роботи захищають за навчальним графіком, що передбачає коротке усне опитування за теоретичною частиною, а також наявність правильно виконаного домашнього завдання з відповідної теми.

7. У кінці семестру викладач виставляє студенту залік з лабораторного практикуму при умові, що він захистив усі лабораторні роботи і підготував реферат. Студенти, які не отримали залік з лабораторних робіт, до екзамену не допускаються.

8. Перед виконанням лабораторного практикуму необхідно пройти інструктаж з техніки безпеки та розписатися у відповідному журналі.

Вимоги техніки безпеки

1. Категорично забороняється проводити досліди, які не належать до даної роботи і не передбачені планом.

2. Забороняється пробувати на смак хімічні реактиви чи полімерні матеріали.

3. Усі експерименти з концентрованими кислотами та лугами, отруйними та леткими речовинами необхідно проводити у витяжній шафі.

4. При попаданні реактивів в очі їх необхідно відразу промити великою кількістю води та звернутися до лікаря.

5. При опіку нагрітим предметом обробити уражене місце розчином перманганату калію.

6. Забороняється крутити ручки настройки та натискати кнопки управління вимірювальних приладів у непередбаченій інструкцією послідовності.

7. Забороняється залишати без нагляду увімкнені прилади.

8. Про всі неполадки в лабораторії необхідно відразу повідомляти викладачу.

Лабораторна робота №1.
ЗНАЙОМСТВО З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТА ПРИНЦИПОМ
РОБОТИ ЦИФРОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО ФОТО-ВІДЕОМІКРОСКОПА
(НА ПРИКЛАДІ МОДЕЛІ «SUPEREYES B011 5MP 1000X
INTERCHANGEABLE LENS DIGITAL MICROSCOPE LOUPE
MAGNIFIER»).

Завдання № 1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПРИНЦИП РОБОТИ
ЦИФРОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО ФОТО-ВІДЕОМІКРОСКОПА

Мета роботи: ознайомитися з основними характеристиками і принципом роботи цифрового електронного фото-відеомікроскопа.

1.1. Теоретична частина

Характеристики:

- Підтримка USB 2.0. Істинний датчик зі світлочутливої матрицею (CMOS) максимум 5,0 Мп. Регульований світлодіод. Автоматичний баланс білого і баланс яскравості.
- Максимальне збільшення 1000 X (комбінований оптичний і цифровий зум 1000 X, що обчислюється на 21" моніторі), можливість регулювання збільшення. Фокусна відстань від 0 мм до нескінченності. Коефіцієнт збільшення досягається шляхом зменшення фокусної відстані, і навпаки.
- ПЗ сумісно з ОС Windows 8/7/Vista/XP SP2/2000 32/64, Mac OSx10.5 і вище, Linux. Для Mac просто використовуйте ПЗ Photo Booth або FaceTime для того, щоби відкрити пристрій без драйвера або додаткового ПЗ.
- Функція вимірювання доступна тільки на ОС Windows, включаючи вимірювання довжини, довжини дуги, прямокутника, вимір відстані і т.д. Ця функція доступна тільки для операційних систем на основі Windows.
- Всі Supereyes Мікроскопи захищені від навколишнього середовища міцним, легким, малим і дружнім корпусом з алюмінієвого сплаву.
- Треба перевірити і проаналізувати функції запису відео. Формат фото: JPEG. Розподільна здатність захоплення фотографії: максимум 2594 x 1922. Розподільна здатність відео-захоплення 1600 x 1200. Відео-формат: WMV для систем Windows, AVI для OS Mac. Максимальна швидкість показу 30 кадрів за секунду.

Особливості:

- Із Supereyes мікроскопа можна переглядати і розділяти дрібні деталі зразка або об'єкта прямо на екрані комп'ютера. Це відмінний інструмент для контролю якості, огляду друкованих плат, здоров'я/медичних цілей, нумізматики, огляду ювелірних виробів і т.д.
- Supereyes B011 - це новаторська модель зі змінними лінзами, здатна задовольняти різні вимоги. Стандартний набір включає корпус цифрового мікроскопа B011, 1000x об'єктив і стійку. Він має ручний фокус з функцією безперервного масштабування в інтервалі 1-1000X. Він може використовуватися з додатковими знімними об'єктивами B011G, B011C і B011L, які спеціально сконструйовані для цього пристрою і продаються відокремлено.

- За допомогою об'єктива B011G досягається збільшення до 2000 X, коли відстань від об'єкта становить до 2 см.

- Використовуючи об'єктив B011C з довгий фокусом, скляними лінзами, апертури F2.4, широкоформатним кутом 18,5°, з діаметром фільтру 19 мм, максимальна відстань до об'єкта може досягати 20 см при максимальному збільшенні 1000X.

- За допомогою комплекту B011L, кольори LED-джерел можуть бути змінені на зелений, синій, жовтий, червоний або фіолетовий.

Функції ПЗ.

- Рисування ескізів.
- Фотографування.
- Відео запис: тривалий час відео запису (3.6 Гб/11 годин).
- Визначення розміру довжини дуги об'єкта.
- Визначення розміру кута об'єкта.
- Визначення розміру довжини між двома точками.
- Автоматичне генерування фотозображення в папці «Картинки» при фотозйомці.

- Автоматичне генерування відео в папку «Відео» при відеозаписі.

Характеристики:

- Збільшення: 1/10-1000 X.
- Фокус: ручний фокус.
- Фокусна довжина: від 0,5 мм до 300 мм.
- Мова екранного меню (OSD): Англійська, китайська, німецька, японська.
- Розподільна здатність: 5 МП, 2592 * 1922 1600 * 1200, 640 * 480, 320 * 240.
- Робочі платформи: Windows7/Windows8/XP/Vista/Mac OS/Linux.
- Функції ПЗ: фотографування, запис відео, вимірювання, введення тексту
- Фотографія: програмне забезпечення фотографування по кабелю, функція антитремаючого захоплення.

- для користувачів Win: завантажте Supereyes V3.54, щоби отримати повну сумісність сWin8 32/64 бітів.

- Для користувачів Mac: використовуйте Photo Booth or FaceTime, щоб відкрити пристрій. Функція вимірювання, включаючи довжина, дуги, прямокутник, вимір відстані і т.д. доступна тільки для Windows.

- графіка: високого стиснення, 3.6 GB/11 год.
- Формат зображення: JPEG; відео формат: WMV/DZC.
- Дозвіл відеозахоплення: 320 x 240.
- Вимірювання: довжини дуги, відстані між точками, кута.
- Точність поділів калібрувальної лінійки: 0,5 мм.
- Джерело світла: світлодіоди з регульованою яскравістю.
- Швидкість дисплея: 30 fps.
- Інтерфейс: USB 2,0.
- Розмір: Ø19 mm x 101 mm.
- Вага бруто (упаковки): 740 г.

Примітка: дисплей на швидкості при розрізняльній здатності 5 МР може працювати повільно. Рекомендується використовувати 2 МР для попереднього перегляду, і 5 МР для фотографування.

Комплект включає:

- 1 x USB корпус Microscop.
- 1 x мультиспрямована тонка стійка (Z008).
- 1 X лінійка для калібрування.
- 1 x CD.

Як використовувати:

• Для Mac і Linux підключіть пристрій до комп'ютера і після цього використовуйте відповідне ПЗ, щоб відкрити його.

• Для Windows XP SP2 або вище, включаючи Win8 32/64 bit, драйвер не потрібний. Якщо виникають якісь проблеми щодо міні-CD, завантажте програмне забезпечення на www.supereyes.cc.

(1) після установки ПЗ приєднайте пристрій до ПК, відкрийте ПЗ, виберіть функцію «Перегляд», ви повинні побачити роботу пристрою. Для докладної інформації про вимірювання – див. Керівництво користувача.

(2) для досягнення максимального збільшення встановіть мікроскоп на самому верху об'єкта, повернути хвостовик мікроскопа для зміни фокусу. Увімкніть світлодіоди, якщо потрібно. Зменшення масштабування (збільшення) досягається збільшенням відстані між мікроскопом і об'єктом.

(3) Ви можете виявити, що швидкість дисплея на вирішенні 5 MP уповільнена, що залежить від специфікації вашого комп'ютера і швидкості передачі USB 2.0. Рекомендується використовувати 3 MP для попереднього перегляду і 5 MP для фотографування об'єкта.

Як розрахувати збільшення digital microscope.

Цифровий мікроскоп відрізняється від традиційного оптичного мікроскопа. Збільшення цифрового мікроскопа включає і оптичне і цифрове збільшення. Хороший метод тестувати реальне збільшення - використання наступного рівняння:

Model:500X

$$\frac{(2592 \div 1280) \times 17 \times 25.4}{2} = \text{Magnification Factor}$$

5 MP sensor: 2592 X 1944
 17" monitor: 1280 X 1024
 1 inch = 25.4mm
 Monitor size

The real maximum object length when using the maximum magnification of microscope

Це рівняння ми обчислимо для моделі мікроскопа Supereyes B011.

• Supereyes B011 має 5 MP датчик. Можливо також зменшити роздільну здатність до 3 MP.

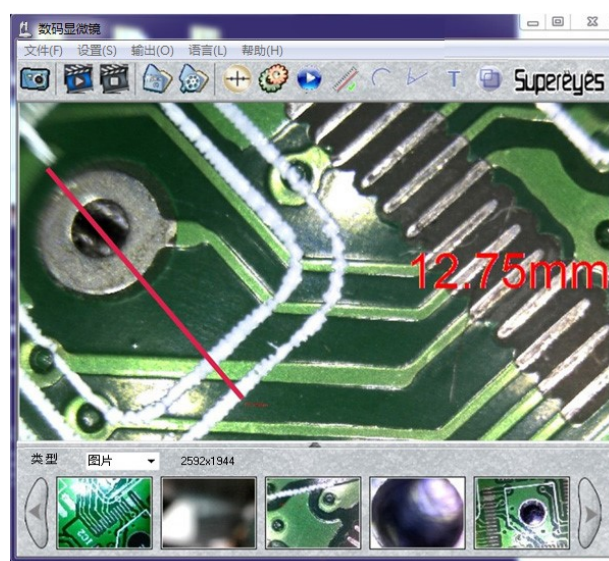
- 17" - найпопулярніший монітор на ринку. Специфікації всіх продуктів Supereyes наведені, виходячи з 17" монітора.
- 2 мм. Зазвичай, якщо ви використовуєте максимальну потужність/збільшення Supereyes продуктів, максимальна реальна довжина, яка може повністю зайняти монітором, дорівнює 2 мм.
- Якщо мікроскоп має 0,3 МР датчик, то малоімовірно, що він має реальні 1000 X.

ПЗ Supereyes.

ПЗ Supereyes сумісно з Win XP SP2 або вище, включаючи Win8 32/64 bit. Воно включає функцію стабілізації зображення, 11-годин запису, вимірювання (включаючи довжину, кут, дугу і так далі) та інші функції.



图片/视频



图片/视频



图片/视频

Рис.1. Приклади автоматизованого вимірювання за допомогою мікроскопа

Довідковий матеріал: як вибрати мікроскоп?

1. яка розрізняювальна здатність підходить для ваших цілей краще?
2. Є деякі фотографії, для прикладу, що зняли за допомогою мікроскопа Supereyes, які допоможуть вам прийняти рішення.

АВТОФОКУС чи РУЧНЕ ФОКУСУВАННЯ?

Мікроскопи з ручним фокусом дешевше і менше. Мікроскопи з автоматичним фокусом зберігають ваш час. Ефект збільшення залежить від відстані між мікроскопом і об'єктом: він збільшується при наближенні до об'єкту, і навпаки. У деяких випадках більш важливий діаметр об'єктива.

The relation between image size and display speed		
Pixels	Resolutions	Frame/Second(F/S)
0.3MP	640 X 480	≈ 30
2.0MP	1600 X 1200	≈ 15
5.0NP	2592 X 1944	≈ 1

Посилання на інтернет-огляд мікроскопа:

http://supereyes.ru/articles/obzor_tsifrovogo_mikroskopa_so_smennymi_obektiva_mi_supereyes_b011_novinka/

1.2. Експериментальна частина

Провести фотографування декількох об'єктів за завданням викладача, після чого оброзмірити та підписати їх.

Результати фотографування у вигляді картинок з підписами розмістити в протоколі.

За результатами випробувань на розтяг заповнюють протокол.

ПРОТОКОЛ № _____ від _____

Випробування на розтяг елементарних волокон по ГОСТ 6943.5-79

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип наповнювача, діаметр волокон)
3. ЗРАЗКИ: (розміри, кількість)
4. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура, вологість повітря)
5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Фотографування і оброзмірювання об'єктів провів:

Лабораторна робота № 2 ЕЛЕМЕНТАРНІ ВОЛОКНА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЇХ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.

Завдання № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ВОЛОКОН

Мета роботи: визначити механічні властивості елементарних волокон.

1.1. Теоретична частина

Визначення механічних характеристик ниток з елементарних волокон виконується за ГОСТ 6943.5-79. Для випробувань застосовують зразки з відрізків елементарних волокон, закріплених в рамки. Рамки вирізують з щільного паперу з довжиною прорізи (базою) 10 мм і шириною від 5-6 мм (рис. 2, а, б; рис. 2.1).

Навантаження зразків до руйнування проводять на спеціальному приладі (рис. 3). Максимальне навантаження F фіксують за шкалою динамометра, а зміна довжини волокна Δl – за шкалою деформації або із застосуванням горизонтального мікроскопа (катетометри). При необхідності будують діаграму деформування (залежність $F-\Delta l$).

Нижче наведені значення діаметрів d , руйнівного напруження σ_p і модуля пружності E_p при розтягуванні для деяких типів елементарних волокон (табл. 1).

Таблиця 1

Тип волокна	d , мкм	σ_p , МПа	E_p , ГПа
Скляне волокно із Е-скла	6–20	3450	70–73
Органоволокно (кевлар)	12	2760	130
Вуглецеве волокно високоміцне	7,5–8	2500–3500	200–250
Вуглецеве волокно високомодульне	7,5–8	2000–2500	300–700

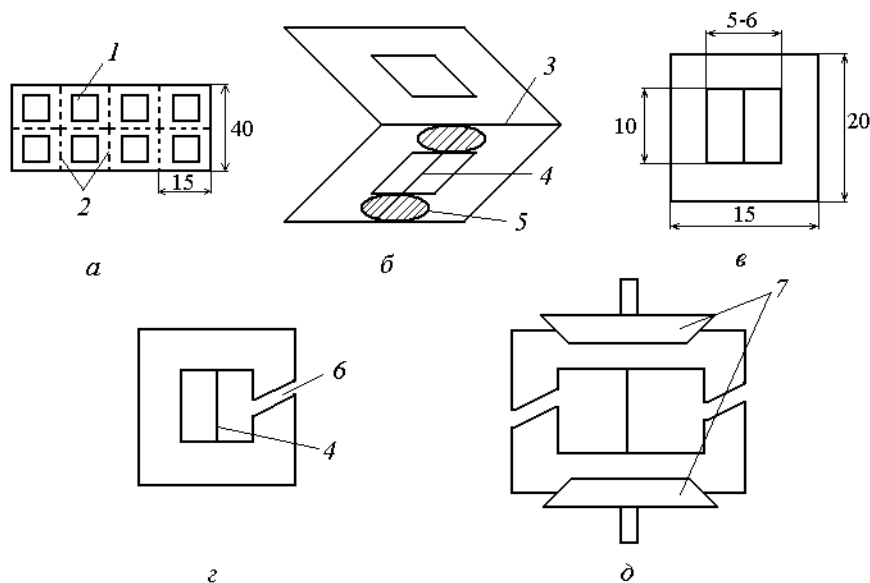


Рис. 2. Одержання зразків для механічних випробувань ниток з елементарних волокон (а–д стадії виготовлення): 1 – прорізи; 2 – лінії відрізу; 3 – лінія згину; 4 – нитка (елементарне волокно); 5 – клей; 6 – надріз; 7 – затискачі

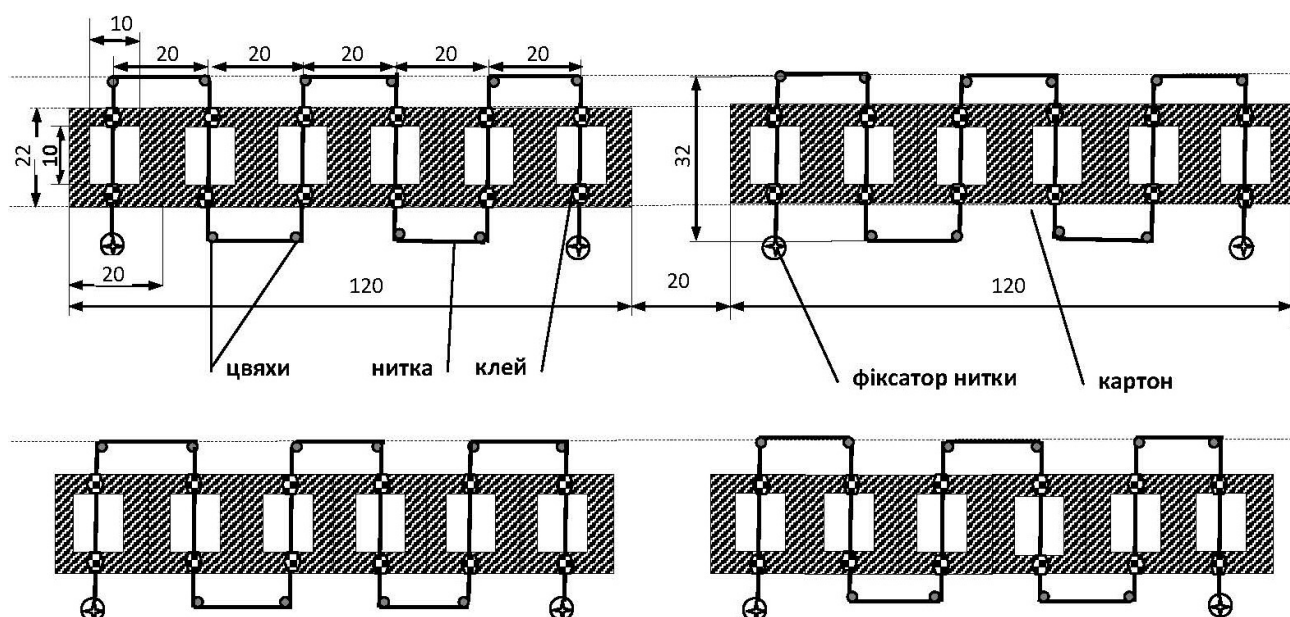


Рис. 2.1. Схема приготування чотирьох блоків зразків волокнистих наповнювачів

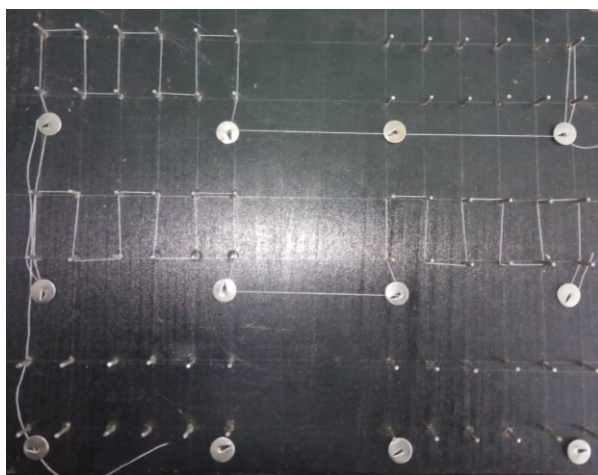


Рис. 2.2. Натурний шаблон для приготування шести блоків зразків волокнистих наповнювачів

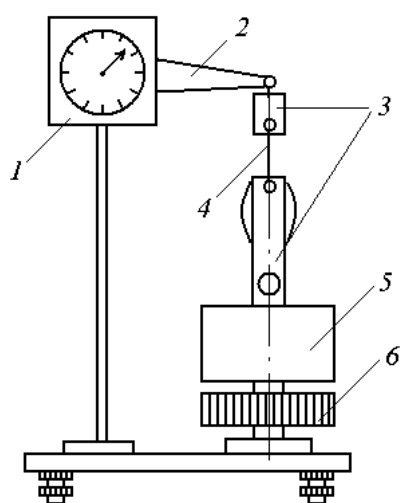


Рис. 3. Установка для визначення руйнівного напруження і модуля пружності елементарних волокон. 1 – динамометр; 2 – важіль; 3 – затискачі; 4 – нитка (волокно); 5 – стійка; 6 – маховик зі шкалою деформацій

1.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: прилад для визначення пружних і міцнісних характеристик матеріалів зі змінними динамометрами, катетометри, мікроскоп, рамки із щільного паперу для кріплення зразків, ножиці, пінцет, клей, каніфоль, скляні та/або базальтові і/або вуглецеві волокна.

Тканини: конструкційні склотканини Т-13 і ТГ-430, кремнеземні тканини КТ-11-13 / КА-600 (92), базальтова тканина ТБК-100.

Хід роботи. Готують зразки для випробувань наступним чином.

На одну половинку рамки біля прорізи наносять клей і пінцетом укладають нитку (волокно) паралельно краю рамки (рис. 2, б), не торкаючись робочої частини волокна. Рамку складають навпіл і витримують під тиском до повного склеювання обох частин.

За допомогою мікроскопа визначають діаметр нитки (волокна), закріпленого в рамці, з точністю до 0,5 мкм. Діаметр заміряють в декількох точках робочої частини (не менше п'яти вимірів) і визначають середнє значення.

1.2.1. Визначення руйнівного напруження при розтягуванні нитки (елементарних волокон)

Одержану рамку надрізають з одного боку (рис. 2, з) і встановлюють в затискачі випробувального приладу (рис. 3), потім розрізають другу сторону рамки (рис. 2, д). Навантаження проводять (вручну або автоматизовано) обертанням маховика. В момент руйнування зразка фіксують максимальне навантаження за показаннями динамометра.

Випробують не менше п'яти зразків кожного типу наповнювача.

Розраховують руйнівне напруження нитки (волокна) при розтягуванні σ_p (МПа) за формулою

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_{cp}^2},$$

де F – руйнівне зусилля, Н; d_{cp} – середнє значення діаметра волокна, мм.

За результат приймають середнє арифметичне з усіх значень руйнівного напруження. Порівнюють отримане значення з відомим руйнівним напруженням для відповідного типу волокна, далі роблять висновок.

1.2.2. Визначення модуля пружності при розтягуванні нитки (елементарних волокон)

Для визначення модуля пружності застосовують той же прилад (рис. 3). Попередньо на робочій частині волокна для виміру подовження роблять дві мітки на відстані 2-2,5 см нижче і вище середини зразка, наносячи краплі розплаву каніфолі (чим менше мітка, тим точніше вимірювання подовження).

Після закріплення рамки в затиски і розрізання сторін дають попереднє навантаження на зразок (10-15% від руйнуючого) для рівномірного натягу. Заміряють відстань між мітками катетометром. Поступово підвищуючи навантаження, реєструють подовження зразка при відповідних зусиллях.

Розраховують модуль пружності волокна E_p (МПа) для кожного виміру подовження

$$E_p = \frac{4 \cdot \Delta F \cdot l_0}{\pi \cdot \Delta l \cdot d_{cp}^2},$$

де ΔF – приріст навантаження, Н; l_0 – початкова довжина волокна (нитки), мм; Δl – приріст подовження, мм; $d_{\text{ср}}$ – середнє значення діаметра волокна (нитки), мм.

При проведенні замірів за шкалою подовжень, розташованої на маховику, попередньо проводять експеримент по визначенню жорсткості системи.

У затискачах закріплюють жорсткий елемент (сталевий дріт) і визначають переміщення затискачів при збільшенні навантаження. За результатами експерименту будують залежність деформації пристосування від навантаження.

Закріплюють зразок в затискачах і проводять навантаження, як описано вище. За результатами експерименту будують залежність деформації системи від навантаження. Подовження зразка визначають у вигляді графічної різниці кривих деформації системи і деформації пристосування.

Усереднюють результати, отримані для одного зразка, і розраховують середній модуль пружності для волокон кожного типу за результатами випробувань не менше п'яти зразків. Порівнюють отримане значення з відомим модулем пружності при розтягуванні для відповідного типу волокна, роблять висновок.

За результатами випробувань на розтяг заповнюють протокол (табл. 2).

ПРОТОКОЛ № ____ від _____

Випробування на розтяг елементарних волокон по ГОСТ 6943.5-79

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип наповнювача, діаметр волокон)
3. ЗРАЗКИ: (розміри, кількість)
4. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура, вологість повітря)
5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 2.

№ зразка	марка нитки (тканини)	l_0 , мм	d_{cp} , мм	F , Н	l , мм	ΔF , Н	Δl , мм	σ_p , МПа	E_p , МПа
1									
1									
1									
1									
1									
Середнє арифметичне значення									
Середнє квадратичне відхилення									
Коефіцієнт варіації									
2									
2									
2									
2									
2									
Середнє арифметичне значення									
Середнє квадратичне відхилення									
Коефіцієнт варіації									
3									
3									
3									
3									
3									
Середнє арифметичне значення									
Середнє квадратичне відхилення									
Коефіцієнт варіації									

Випробування провів:

Лабораторна робота № 3 ОДНОСПРЯМОВАНІ І ТКАНІ ВОЛОКНИСТІ НАПОВНЮВАЧІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ.

Завдання № 1. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ОДНОСПРЯМОВАНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Мета роботи: вивчити методику визначення фізичних характеристик односпрямованих і тканих волокнистих наповнювачів.

1.1. Теоретична частина

В якості структурних параметрів односпрямованих волокнистих наповнювачів визначають лінійну щільність, а в якості структурних параметрів тканих наповнювачів на основі волокон різної природи визначають вид переплетень тканого наповнювача (полотняне, сатинове, саржеве), щільність, поверхневу щільність, товщину.

1.2. Експериментальна частина

1.2.1. Визначення лінійної щільності односпрямованого наповнювача

Устаткування і матеріали: відрізки склониток і склоровінга, ваги з точністю до 0,001 г, металева лінійка, ножиці.

Хід роботи. Для визначення лінійної щільності наповнювача беруть відрізки ниток, ровінг, довжиною не менше 1 м і зважують їх на електронних вагах з точністю не менше 0,001 м.

Лінійну щільність T (текс) визначають зі співвідношення

$$T = \frac{m}{L},$$

де m – маса наповнювача певної довжини, г;

L – довжина досліджуваного наповнювача, км.

За результат приймають середнє арифметичне не менше трьох вимірів. Усі отримані дані заносять в протокол (табл. 3).

Порівнюють отримане значення лінійної щільності з відомою величиною для відповідного типу волокнистого наповнювача, далі роблять висновок.

ПРОТОКОЛ № ____ від _____

Визначення лінійної щільності наповнювача по ГОСТ 6943.1-94

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип наповнювача, діаметр волокон)
3. ЗРАЗКИ: (розміри, кількість)
4. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура, вологість повітря)
5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 3.

№ п/п	Матеріал	m , г	L , км	T , текс
1				
1				
1				
2				
2				
2				
3				
3				
3				
4				
4				
4				
Середнє арифметичне значення				
Середнє квадратичне відхилення				
Коефіцієнт варіації				

Випробування провів:

Завдання № 2. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ТКАНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Мета роботи: вивчити методики визначення структурних параметрів тканих наповнювачів на основі волокон різної природи.

2.1. Теоретична частина

Залежно від схеми переплетіння ниток основи і утка утворюються ткани наповнювачі різної структури (рис.4 *а–в*).

У тканинах полотняного переплетіння основа і уток взаємно переплітаються через одну нитку (рис. 4, *а*). У тканинах саржевої структури основа і уток переплітаються через дві нитки (рис. 4, *в*). На поверхні такої тканини утворюється характерний візерунок з діагональних смуг. У тканинах сатинового переплетіння кожна з ниток основи (утка) огинає за один період неоднакове число ниток утка (основи) – три, п'ять, сім або більше (рис. 4, *б*).

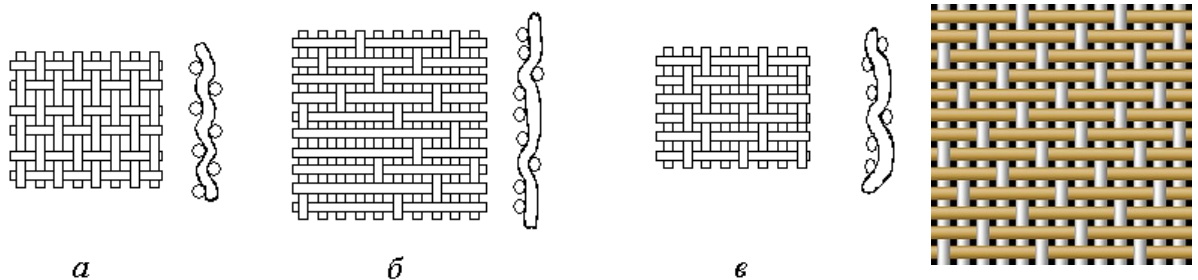


Рис. 4. Види переплетень тканого наповнювача:
а – полотняне; *б* – сатинове; *в* – саржеве

Особливу форму переплетення мають об'ємні тканини, в яких нитки основи і утка переплітаються ще ниткою в перпендикулярній площині.

Іншим характерним параметром для опису тканих матеріалів є її щільність, яка характеризує кількість ниток на одиницю ширини (по основі) або довжини (по утку) тканини. Щільність тканини характеризує частоту розташування ниток у тканині. Чим далі розташовані нитки одна від одної, тим щільність менше, тобто тканина рідша. Чим ближче розташовані нитки одна до іншої, тим щільність більше, тобто тканина щільніше.

Товщина тканини залежить від товщини ниток або від номера пряжі, з якої вона вироблена, і від її будови. Товщина коливається від десятих часток міліметра до декількох міліметрів.

2.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: тканини різної текстури на основі волокон різної природи, ваги, мікроскоп, лупа, лінійка, пінцет, голка, ножиці.

Тканини: конструкційні склотканини Т-13 і ТГ-430, кремнеземні тканини КТ-11-13/КА-600 (92), базальтова тканина ТБК-100 (див. Додаток 1).

Хід роботи. Перед початком аналізу з полотнища тканини вирізують зразки і відокремлюють від крайок надрізані нитки, щоб розмір неушкодженого зразка склав 100 × 100 мм.

2.2.1. Визначення лицьової та зворотньої сторони

Визначення лицьової та зворотньої сторони проводять за такими ознаками:

- у тканин, що мають основу і уток з волокон різного виду, лицьова сторона виготовляється з більш дорогих ниток;
- у художньо-декоративних тканинах лицьова сторона має яскраво виражений малюнок;
- тканини, у яких між лицьовою та зворотньою стороною немає помітної різниці, вважають двосторонніми, або дволицьовими, тому будь-яка зі сторін може бути прийнята за лицьову.

2.2.2. Визначення ниток основи і вутка

Визначення ниток основи і вутка в зразку робляють за такими ознаками:

- кромки в зразку вказують напрямок основи;
- при відсутності крайок напрям ниток основи в більшості випадків можна визначити за характером малюнка переплетіння, по роду волокон, за якістю і властивостями пряжі;
- у напрямку і ступеня крутки основа має більшу крутку, ніж уток.

2.2.3. Визначення типу переплетіння тканини

Для визначення типу переплетення з полотнища тканини вирізують зразок розміром 100×100 мм і поміщають на предметний столик мікроскопа.

У зразках тканин, що мають нескладні і ясно видимі переплетення, як, наприклад, полотняне, саржеве і похідні цих переплетень, досить подивитися на тканину через лупу і визначити вид переплетення, порівнюючи це із зображенням на рис. 4, а–в.

У тканинах, у яких за зовнішнім оглядом важко визначити вид переплетення, його слід визначати шляхом розбору зразка. Для цього у зразка на двох суміжних сторонах роблять бахрому довжиною по 5 мм. Потім на зразок встановлюють лупу і за допомогою двох голок від зразка відсувають до бахромі послідовно одну нитку за одною і замальовують (фотографують) переплетення кожної нитки.

2.2.4. Визначення товщини тканини

Відрізки тканини складають в кілька разів і мікрометрів вимірюють товщину в декількох місцях. Визначають середнє значення товщини тканини шляхом ділення отриманого значення по мікрометру на число шарів тканини.

2.2.5. Визначення щільності тканини

Щільність тканини є важливим фактором, що впливає на її будову, і характеризує кількість ниток на одиницю ширини (по основі) або довжини (по утку) тканини. За одиницю ширини або довжини в стандартах на тканини прийнято вважати **1 см**.

У зразку тканини обережно, не порушуючи її щільність і малюнок, відміряють **5 см** у напрямку основи і визначають кількість ниток на даній ділянці методом підрахунку. Можна застосовувати лупу або мікроскоп з невеликим збільшенням. Число ниток ділять на 5 і отримують число ниток на 1 см.

Експеримент повторюють 3 рази для різних ділянок на зразку. Визначають середнє значення щільності і порівнюють результат з відомим значенням зі стандарту на дану тканину.

Аналогічно проводять експеримент для направлення утка.

2.2.6. Визначення поверхневої щільності тканини

Для визначення поверхневої щільності (маса 1 м²) беруть зразки тканини розміром 100×100 мм в кількості не менше 5 штук. У зразках з обох боків прибирають надрізані нитки і обрізають бахрому. Заміряють розміри зразка з точністю до 0,1 мм і зважують на лабораторних вагах з точністю до 0,01 г. Поверхневу щільність $\rho_{\text{п}}$, г/см², визначають за формулою

$$\rho_{\text{п}} = \frac{m}{b \cdot l \cdot n},$$

де m – маса пакета із зразків, г;

b, l – відповідно ширина і довжина одного зразка, см;

n – число зразків у пакеті, шт.

Експеримент повторюють не менше трьох разів, за результат приймають середнє значення всіх вимірювань. Отримане значення порівнюють з відомим зі стандарту на матеріал і роблять висновки.

Результати всіх досліджень по п. 2.2.2 – 2.2.6 заносять в протокол (табл. 4).

ПРОТОКОЛ № ____ від _____

Дослідження структури тканих наповнювачів

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип)
3. ЗРАЗКИ: (розміри, кількість)
4. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура, вологість повітря)
5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 4.

№ п/п	Матеріал	Тип переплетіння	Товщина, мм	щільність тканини, нитей/см		Поверхнева щільність тканини, $\rho_p, \text{г/см}^2$
				основа	уток	
1						
1						
1						
Середнє арифметичне значення						
Середнє квадратичне відхилення						
Коефіцієнт варіації						
2						
2						
2						
Середнє арифметичне значення						
Середнє квадратичне відхилення						
Коефіцієнт варіації						
3						
3						
3						
Середнє арифметичне значення						
Середнє квадратичне відхилення						
Коефіцієнт варіації						
4						
4						
4						
Середнє арифметичне значення						
Середнє квадратичне відхилення						
Коефіцієнт варіації						

Випробування провів:

Лабораторна робота № 4

ДИСПЕРСНІ (ПОРОШКОВІ) НАПОВНЮВАЧІ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ В ДИСПЕРСНИХ НАПОВНЮВАЧАХ

У більшості випадків дисперсні або порошкові наповнювачі розглядаються як дешеві добавки або наповнювачі об'єму.

Для одержання полімерних КМ зазвичай застосовують тверді наповнювачі: тонкодисперсні з частинками зернистої форми (сажа, діоксид кремнію, деревне борошно, крейда, каолін та ін.) або пластинчастої форми (тальк, слюда, графіт й ін.), Порожнисті сфери, а також різноманітні волокнисті матеріали (льоноволокно, деревна тирса, короткі скляні волокна й ін.).

Завдання № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ І ФОРМИ ЧАСТИНОК КОРОТКОВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Мета роботи: визначити основні геометричні характеристики наповнювачів.

1.1. Теоретична частина

Вибір наповнювача в першу чергу обумовлюється розмірами його часток і їх розподілом за розмірами (полідисперсністю), а також формою частинок і характером їх упаковки.

Дисперсні матеріали класифікують за формою залежно від співвідношення характеристичних розмірів (рис. 5). Дана класифікація досить умовна і заснована на різниці в площі поверхні частинок.

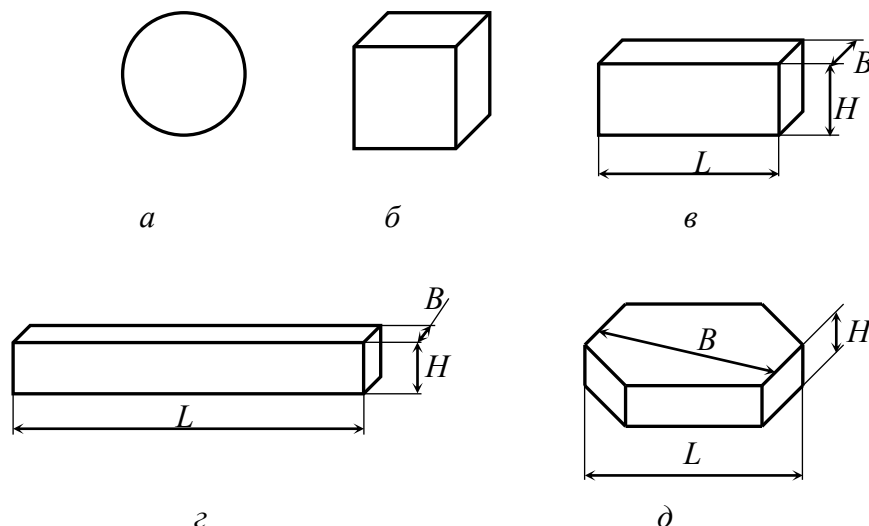


Рис. 5. Вид і основні розміри частинок наповнювача:
 a – сфера; $б$ – куб; $в$ – паралелепіпед; $г$ – волокно; $д$ – лусочки.
 L – довжина; H – висота; B – ширина

Форма частинок більшості наповнювачів відрізняється надзвичайно сильно і не може бути строго охарактеризована. Тому тільки розміри частинок і площа їх

поверхні можуть служити основою для класифікації наповнювачів і оцінки їх впливу на властивості систем «наповнювач – зв'язуюче».

Відповідно до цього вводиться характеристика розміру частинки - діаметр еквівалентної сфери (ДЕС), тобто діаметр такої сфери, об'єм якої дорівнює об'єму частинки. Особливості досліджуваних наповнювачів наведено у **Додатку 2**.

1.2. Експериментальна частина

1.2.1. Визначення геометричних розмірів і форми частинок коротковолокнистих наповнювачів

Устаткування і матеріали: дисперсні волокнисті наповнювачі (за вибором викладача), мікроскоп, штангенциркуль, мікрометр.

Хід роботи. Невелика кількість наповнювача розподіляють рівномірно на плоскій поверхні. Для вимірів застосовують штангенциркуль або мікрометр (для частинок $> 0,1$ мм), для дуже малих частинок ($< 0,1$ мм) виміри проводять за допомогою мікроскопа.

Визначають характерні розміри частинок (довжина, ширина, товщина) і відношення максимального розміру до мінімального.

Визначають форму частинок різних наповнювачів і замальовують (фотографують) їх. Результати досліджень заносять до табл. 5.

1.2.2. Визначення форми і розмірів частинок порошкових наповнювачів

Устаткування і матеріали: порошкові наповнювачі різних типів (див. Додаток 2), катетометри (мікроскоп), предметні скельця.

Хід роботи. Для визначення форми і розмірів частинок невелика кількість наповнювача поміщають на предметне скло, попередньо змочене водою, і зверху закривають другим предметним склом. Домагаються розподілу наповнювача і відділення частки від частки.

Зразок встановлюють на предметний столик мікроскопа. Підбирають відповідне збільшення і різкість. Визначають і замальовують (фотографують) форму частинок. Визначають основні розміри частинок і розраховують ДЕС. Результати досліджень заносять до табл. 5

Таблиця 5

№ п/п	Матеріал	Особливості (див. Додаток 2)	Розміри часток, мм			Форма часток	Діаметр еквівалентної сфери
			Довжина	Ширина	Товщина		
1							
1							
2							
2							
3							
3							
4							

4							
5							
5							
...							

Випробування провів:

Література

1. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справ. пособие; перевод с англ. / Под ред. П. Г. Бабаевского, М.: Химия, 1981. – 736 с.
2. Стружка древесная Технические условия: ГОСТ 5244–79. – Взамен ГОСТ 5244–73; введ. 01.01.1981. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 6с.
3. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия: СТБ 1195–99. – Взамен ГОСТ 10.30–70; введ. 01.07.2000. – Минск: Госстандарт: БелГИИС, 2000. – 24с.

Завдання №2. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ В ДИСПЕРСНИХ НАПОВНЮВАЧАХ

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення вмісту вологи в волокнистих наповнювачах.

2.1. Теоретична частина

Технологічні властивості вихідних дисперсних матеріалів оцінюють за величиною вологості, сипучості, гранулометричним складом, питомим об'ємом і настипною щільністю.

При підвищеному вмісті вологи в волокнистих матеріалах істотно погіршується їх сипкість, в результаті чого в бункері переробної промисловості відбувається зависання матеріалу, що призводить до зниження точності дозування і порушення рівномірності живлення машини. Знижується якість виробів - на зовнішній поверхні утворюються хвилястості, здуття, відшарування, бульбашки і тріщини, спостерігається розмірний брак, викривлення і розшарування виробів.

Вміст вологи в наповнювачах рослинного походження може бути визначено по зміні маси наповнювача до і після висушування його в термошкафу при заданих температурах і часі.

2.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: ексикатор, бюкс або тигель, ваги аналітичні, наповнювачі різного типу, термошкаф.

Хід роботи. В чистий, попередньо зважений бюкс (або чашу) поміщають приблизно 5 г випробуваного матеріалу і (після закриття) зважують на аналітичних вагах з точністю до 0,001 г. Відкритий бюкс поміщають в термошкаф і витримують протягом 30 хв при температурі $80 \pm 2^\circ \text{C}$. Після цього відкритий

бюкс переносять в ексикатор для охолодження матеріалу до кімнатної температури. Потім бюкс закривають і повторно зважують разом з матеріалом.

Відносний вміст води та інших летких речовин $W_n\%$, розраховують за формулою

$$W_n = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M} \cdot 100, \%,$$

де M_1 , M_2 – маса бюкса з матеріалом до і після видалення летючих відповідно, г; M – маса бюкса, г.

За результат випробувань приймають середнє арифметичне значення не менше трьох вимірів. Експериментальні дані заносять в протокол.

ПРОТОКОЛ № _____ від _____
Визначення вологовмісту в дисперсних наповнювачах

1. АПАРАТУРА: (прилади, пристосування; тип і основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип)
3. УМОВИ ВИПРОБУВАНЬ: (температура $T = \dots$ °C, вологість повітря $W = \dots\%$)
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ:

Таблиця 6.

№ зразка	Матеріал	M , г	M_1 , г	M_2 , г	X , %
1					
1					
2					
2					
3					
3					
Середнє арифметичне значення					
Середнє квадратичне відхилення					
Коефіцієнт варіації					

Випробування провів:

ЛІТЕРАТУРА

1. Басов, Н. И. Контроль качества полимерных материалов / Н. И. Басов, В. А. Любартович, С. А. Любартович. – Л.: Химия, 1977. – С. 36–44.

Лабораторна робота № 5

ТЕРМОРЕАКТИВНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ. ПРИГОТУВАННЯ ЗВ'ЯЗУЮЧОГО НА ОСНОВІ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ОЛІГОМЕРІВ

ЗАВДАННЯ №1. ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОМПОНЕНТІВ ТЕРМОРЕАКТИВНОГО ЗВ'ЯЗУЮЧОГО

Мета роботи: навчитися візуально ідентифікувати різні типи смол і компонентів для виготовлення полімерних зв'язуючих.

1.1. Теоретична частина

При одержанні КМ термореактивні полімери використовують у вигляді зв'язуючого.

Термореактивного полімерне зв'язуюче представляє собою дво- або багатокомпонентну систему, що складається із синтетичної смоли (полімерної або олігомерної складової) і затверджувачів або ініціаторів, каталізаторів, прискорювачів затвердіння. Часто полімерні зв'язуючі містять також пасивні або активні розчинники (розчинники), пігменти і барвники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти, що вводяться для надання зв'язуючому і ПКМ необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей.

Склад зв'язуючого залежить від механізму проходження реакції затвердіння та від необхідних механічних властивостей затверділого продукту.

Для виготовлення КМ найбільш часто застосовують поліефірні, епоксидні або фенолоформальдегідні зв'язуючі, як найбільш ефективні, що мають досить високі показники міцності в затверділому стані і не виділяють великої кількості шкідливих речовин.

Поліефірмалеїнати (*поліефірні смоли*) в залежності від складу, хімічної будови і молекулярної маси являють собою в'язкі рідини або тверді речовини. Температура і швидкість затвердіння визначається вибором типу ініціатора і прискорювача. Для низькотемпературного затвердіння найчастіше використовують перекис бензоїлу або гідроперекис ізопропілбензола (гіперіз), а для високотемпературного - трет-бутилпербензоат.

Ефективними прискорювачами, застосовуваними в поєднанні з перекисом бензоїлу, є третинні аміни, наприклад диметил, диетил- і діетаноламін і т. д.; з гідроперекисів застосовують кобальтові солі нафтенівих і деяких інших кислот, наприклад, нафтенат кобальту, що випускається у вигляді стирольного розчину під назвою «прискорювач НК».

Незатверділі епоксидні смоли являють собою розчинні і плавкі в'язкі рідини або тендітні тверді речовини, які характеризуються гарною адгезією до багатьох матеріалів і невеликою усадкою при затвердінні. Дані про фізичний стан деяких марок епоксидних смол представлені нижче (табл. 8).

Таблиця 8

Тип смоли	$T_{пл}, ^\circ C$	Фізичний стан при 20°C
ЕД-22	-10	Рідкий
ЕД-20	0	Рідкий
ЕД-16	10	В'язкий
ЕД-10	50	Твердий
ЕД-8	70	Крихкий

Твердниками епоксидних смол можуть бути аміни (поліетиленполіамін, гексаметилендіамін, піридин) – твердники холодного затвердіння, а кислотні твердники (малеїновий і фталевий ангідриди і т. д.) – твердники гарячого затвердіння.

Незатверділі фенолоформальдегідні смоли представляють собою в'язку рідину або тверду крихку прозору аморфну масу, легко переходить в рідинний стан в інтервалі температур 60 – 120° С.

1.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: смоли (за наявністю) – **епоксидна**, поліефірна, фенолоформальдегідна; твердники – **поліетиленполіамін (ПЕПА)**, тріетаноламініотитанат (ТЕАТ), малеїновий ангідрид (МА), гідроперекис ізопропилбензола (гіперіз); прискорювач – нафтенат кобальту (НК).

Хід роботи. Візуально вивчають різні типи смол і компонентів для виготовлення полімерних зв'язуючих.

Описують відмінні риси кожного з компонентів за такими параметрами, як колір, запах, агрегатний стан, густина (щільність).

Густина (щільність) рідких (затверділих) олігомерних матеріалів визначають як відношення маси до займаному об'єму.

Спостереження заносять до табл. 9.

Таблиця 9

Компоненти	Колір	Запах	Густина (щільність)	Фізичний стан	Інші особливості

Випробування провів:

Завдання № 2. ПРИГОТУВАННЯ ЗВ'ЯЗУЮЧОГО НА ОСНОВІ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ОЛІГОМЕРІВ

Мета роботи: навчитися проводити розрахунок компонентів, необхідних для приготування різних типів зв'язуючого.

2.1. Теоретична частина

Полімерне зв'язуюче складається з декількох компонентів: смоли, затверджувача, прискорювача, каталізатора, пластифікатора й ін.

Для приготування певної кількості зв'язуючого необхідно з достатньою точністю визначати маси відповідних складаючих компонентів. Тільки при точному дотриманні рецептури і заданого співвідношення інгредієнтів одержують якісні матеріали. Склад компонентів може бути визначено емпірично або шляхом розрахунків.

Необхідну масу, з урахуванням технологічних втрат (приблизно 10%), приймають рівною сумі масових частин усіх компонентів. Розрахунок компонентів проводять шляхом складання відповідних пропорцій.

Деякі склади зв'язуючих, що найбільш часто використовуються в промисловості, наведені в Додатку 3.

Компоненти зв'язуючого вводять до смоли поступово. Все ретельно перемішують для рівномірного розподілу за об'ємом. Перемішування проводять обережно, щоб запобігти утворенню бульбашок повітря. Затверджувач вводять в композицію останнім.

Високов'язку смолу при її використанні спочатку підігрівають до 80 °С і в теплому стані вводять пластифікатор або розчинник.

Використовуючи зв'язуюче, необхідно дотримуватися обережності, так як при проходженні реакції затвердіння можливий розігрів композиції до 200 °С.

2.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: компоненти, необхідні для приготування епоксидного і поліефірного зв'язуючого, ваги, скляна паличка, ємність для перемішування композиції, термошафа.

Хід роботи. Розраховують маси компонентів для приготування 100 г зв'язуючого на основі епоксидної смоли за рецептурою №1 (Додаток 3): ЕД-20 – 100 мас. ч, ПН-1 (за наявністю) – 20 мас. ч., ПЕПА – 10 мас. ч.

Визначають маси компонентів, складаючи відповідні пропорції. Маса зв'язуючого з урахуванням технологічних втрат дорівнює 110 г, що відповідає 130 мас. ч. зв'язуючого (100 + 20 + 10).

Тоді 110 г (зв'язуюче) - 130 мас. ч, Х1 (ЕД-20) - 100 мас. ч., Х2 (ПН-1) – 10 мас. ч., Х3 (ПЕПА) – 20 мас. ч. Вирішуючи пропорції отримуємо, що для приготування заданої кількості зв'язуючого необхідно взяти 84,6 г – ЕД-20; 8,4 г – ПН-1; 16,9 г – ПЕПА.

Аналогічним чином проводять розрахунок компонентів зв'язуючих за рецептурами №№2–8 з Додатка 3. Результати розрахунків маси компонентів для всіх досліджуваних рецептур заносять до табл. 10.

Для приготування зв'язуючого ємність зважують на лабораторних вагах з точністю до 0,1 г. Вливають розраховану кількість смоли, потім поступово вводять необхідну кількість компонентів, ретельно перемішуючи композицію.

Таблиця 10

№ рец.	Смола		Пластифікатор		Твердник		прискорювач	
	мас. ч.	г	мас. ч.	г	мас. ч.	г	мас. ч.	г
1								
1								
1								
...								

Випробування провів:

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВНОЇ В'ЯЗКОСТІ І ГУСТИНИ РІДКІХ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ПОЛІМЕРНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ, А ТАКОЖ ЩІЛЬНОСТІ ЗАТВЕРДІЛИХ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ.

Завдання №1. ВИЗНАЧЕННЯ УМОВНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДКІХ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ПОЛІМЕРНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ

Мета роботи: визначити вплив складу полімерної композиції і температури на значення в'язкості.

1.1. Теоретична частина

Полімерне зв'язуюче на стадії одержання КМ (просочення) являє собою в'язку рідину. Основним параметром для опису поведінки такої рідини є в'язкість, яка характеризується коефіцієнтом в'язкості η .

Чим вище в'язкість η , тим важче зв'язуюче проникає в міжволоконний простір наповнювача. Для зниження в'язкості використовують різні пластифікатори або розріджувачі. Однак, надто низьке значення показника в'язкості робить негативний вплив на якість одержуваного затверділого матеріалу, так як може відбуватися стікання полімерної композиції з похилих поверхонь або видавлювання великої кількості його з форми. І навпаки, для підвищення в'язкості в композицію вводять добавки, що загущують (наприклад, аеросил).

Для швидкого наближеного визначення умовної в'язкості (часу витікання) полімерних рідких зв'язуючих застосовують віскозиметр ВЗ (рис. 6). Віскозиметр являє собою резервуар, що має форму воронки з трьома змінними соплами. Принцип дії віскозиметра заснований на визначенні часу безперервного витікання випробуваної рідини в кількості 100 см³ через вихідний отвір змінної вставки-сопла.

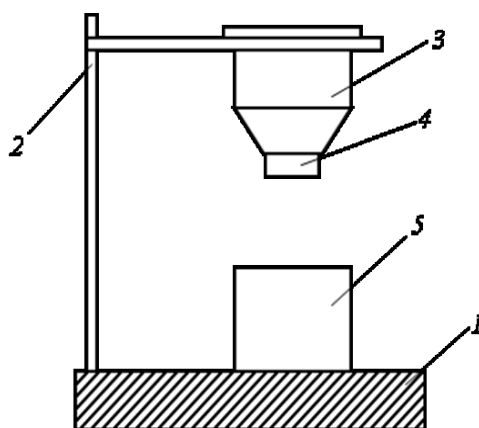


Рис. 6. Схема віскозиметра ВЗ для визначення умовної в'язкості рідин:
1 – опора; 2 – штатив; 3 – резервуар; 4 – сопло; 5 – приймальний стакан

1.2. Експериментальна частина

1.2.1. Визначення умовної в'язкості полімерних зв'язуючих

Устаткування і матеріали: різні типи зв'язуючого, віскозиметр ВЗ-4, секундомір з ціною поділки 0,5 с, термометр з ціною поділки 0,1°C, ємність для зв'язуючого, скребок, набір сопел змінного діаметра.

Хід роботи. Готують 100 мл зв'язуючого за рецептурами №№ 1–8 (Додаток 2). Вгвинчують сопло з необхідним діаметром вихідного отвору ($\varnothing 2$ мм, $\varnothing 4$ мм, $\varnothing 6$ мм) в резервуар. Встановлюють резервуар в штатив, передбачивши установку приймальні ємності для витікає з резервуара рідини. Штатив приладу поміщають на стіл зі строго горизонтальною поверхнею. Закривають вихідний отвір вставки-сопла резервуара для виключення витікання рідини.

Повільно, щоб уникнути утворення бульбашок, наливають рідину в резервуар до його верхньої кромки. Меніск видаляють скляною пластиною. Приймальний посуд встановлюють так, щоб відстань між вихідним отвором і прийомною посудиною була не менше 100 мм.

Відкривають вихідний отвір вставки-сопла і з початком руху рідини з отвору резервуара віскозиметра одночасно включають секундомір. Під час першого переривання струменя, що витікає з сопла, зупиняють секундомір і фіксують час t . Час закінчення визначають з похибкою не більше 0,5 с.

Повторне вимірювання проводять відразу після закінчення попереднього вимірювання без очищення внутрішньої поверхні резервуару віскозиметра. За результат випробувань приймають середнє арифметичне результатів 3-5 вимірювань часу витікання (в секундах).

За результатами експериментів і розрахунків заповнюють табл. 11.

Таблиця 11

№ п/п	рідкий матеріал	$T, ^\circ\text{C}$	Віскозиметр ВЗ	
			\varnothing сопла, мм	$t, \text{с}$
1				
1				
1				
2				
2				
3				
3				
...				

Випробування провів:

Завдання № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ РІДКОГО ЗВ'ЯЗУЮЧОГО

Мета роботи: навчитися теоретично і експериментально визначати густину рідкого зв'язуючого на основі різних термореактивних полімерів.

2.1. Теоретична частина

Для розрахунку складу КМ необхідно знати густину зв'язуючого, що складається з декількох компонентів.

Густину такого зв'язуючого можна визначити теоретично, знаючи густини вихідних компонентів і їх масові частки в композиції, та використовуючи правило суміші.

Для експериментальної перевірки отриманого значення густини застосовують метод маси і об'єму, де густини визначають як співвідношення маси композиції до її об'єму.

2.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: компоненти, необхідні для приготування епоксидного і / або поліефірного зв'язуючого, ваги лабораторні з точністю до 0,1 г, скляна паличка, ємність для перемішування композиції, термошкаф, мірний циліндр.

Хід роботи. Готують по 50 г різних зв'язуючих за рецептурами №№ 1–8 (Додаток 3.). Методика розрахунку необхідної кількості компонентів описана в завданні № 2 до лабораторної роботи № 5.

Визначають теоретично густину кожної композиції $\rho_{\text{св}}$, використовуючи правило суміші:

$$\rho_{\text{св}} = \frac{\rho_1 \cdot C_1 + \rho_2 \cdot C_2 + \dots + \rho_n \cdot C_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n},$$

де ρ_1, ρ_2, ρ_n – густини компонентів (див. Додаток 4);

C_1, C_2, C_n – масові частки відповідних компонентів.

Для експериментального визначення густини ρ , зважують мірний циліндр на лабораторних вагах з точністю до 0,1 г. Поміщають в мірний циліндр композицію і визначають займаний нею об'єм. Стежать, щоб зв'язуюче не розподілялося по стінках ємності і не утворювалося велика кількість повітряних бульбашок. Зважують циліндр разом зі зв'язуючим. Густина останнього визначають зі співвідношення

$$\rho_s = \frac{m_{\text{св}} - m_o}{V},$$

де $m_{\text{св}}, m_o$ – маса мірного циліндра зі зв'язуючим і без нього відповідно, г;
 V – об'єм, який займає зв'язуюче, см³.

Експеримент проводять не менше трьох разів, і за значення густини приймають середнє арифметичне всіх експериментів.

Результат експерименту порівнюють з густиною, розрахованою за правилом суміші, і роблять висновки. Результати експерименту та розрахунку заносять до табл. 12.

Таблиця 12

Рецептура, компоненти (мас. ч.)	густина компонентів, г/см ³			$\rho_{\text{св}},$ г/см ³	Експеримент			
	1	2 ...	n		m, г	m ₁ , г	V, см ³	$\rho_{\text{з}},$ г/см ³

Випробування провів:

Завдання №3. ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЗАТВЕРДІЛИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: навчитися визначати щільність затверділих полімерних матеріалів різної природи.

3.1. Теоретична частина

Щільність затверділих полімерних матеріалів визначають кількома методами. Найбільш поширені методи обмірювання і зважування та гідростатичний.

3.2. Експериментальна частина

3.2.1. Визначення щільності полімерних матеріалів

Устаткування і матеріали: полімерні матеріали різної природи, ваги, мірний циліндр.

Хід роботи. Зважують зразок пластмаси, яка не містить бульбашок, на вагах з точністю до 0,001 г, визначають його об'єм та обчислюють щільність ρ , г/см³, користуючись формулою

$$\rho = \frac{m}{V},$$

де m – маса зразка, г; V – об'єм зразка, см^3 .

Для зразків простої форми об'єм визначають шляхом безпосереднього вимірювання мікрометром розмірів з точністю до 0,01 мм.

Для **складної форми зразка** об'єм визначають за витісненням води. Зразок полімеру опускають у мірний циліндр з дистильованою водою. При повному зануренні зразка помічають збільшення об'єму води в циліндрі.

За остаточний результат приймають середнє арифметичне значення трьох вимірів. Результати експериментів заносять до табл. 15.

Порівнюють отримані результати з відомими з літератури значеннями щільності для відповідних типів полімерів.

3.2.2. Визначення щільності гранульованих матеріалів

Устаткування і матеріали: мірний циліндр місткістю 250 мл, етиловий спирт або дистильована вода, полімерний матеріал.

Хід роботи. Зразок зважують на повітрі з точністю 0,001 г. У мірний циліндр (стакан) наливають 150 мл етилового спирту або дистильованої води при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Стакан з рідиною зважують з точністю 0,001 г. У рідину поміщають досліджуваний зразок і повторюють зважування. Отримують значення маси зразка в рідині.

Щільність зразка (в г/см^3) обчислюють за формулою

$$\rho = \frac{m}{m - m_1} \cdot \rho_{\text{ж}},$$

де m , m_1 – маса зразка на повітрі і в рідині відповідно, г;

$\rho_{\text{ж}}$ – густина рідини при 20°C , г/см^3 .

За остаточний результат приймають середнє арифметичне значення трьох вимірів.

Порівнюють отримані результати з відомими з літератури значеннями щільності для відповідних типів полімерів.

Результати експериментів заносять до табл. 13, порівнюють значення щільності, отримані за різними методиками, і роблять висновок.

Таблиця 13

№ п/п	Матеріал	Метод	m , г	V , см^3	ρ , г/см^3	m_1 , г	$\rho_{\text{ж}}$, г/см^3
1							
1							
1							
2							
2							
2							
Середнє арифметичне значення							

Випробування провів:

Лабораторна робота №7. ВИВЧЕННЯ ПОВЕДІНКИ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПРОСОЧЕННІ

Мета роботи: вивчити здатність листових волокнистих наповнювачів (тканин, полотен) різної хімічної природи і текстури до змочування і просочення як капілярно-пористих тіл.

1.1. Теоретична частина

Найважливішою особливістю листових і об'ємних наповнювачів, у першу чергу тканин, є різко виражена їх здатність до просочення і змочування рідкими композиціями у залежності від текстури і напрямку просочення в площині (по утку або основі). Для проведення експерименту застосовують спеціальну кювету (рис. 7).

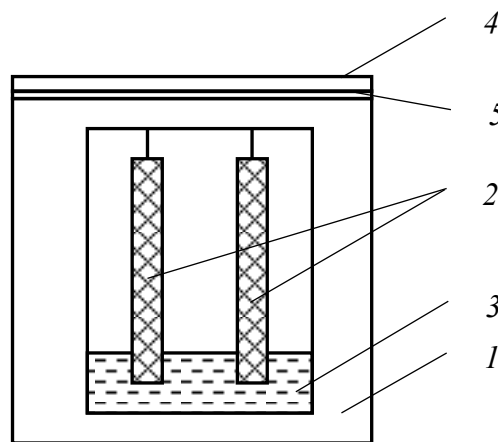


Рис. 7. Кювета для визначення змочуваності наповнювача:
1 – кювета; 2 – смужки наповнювача; 3 – зв'язуюче; 4 – кришка кювети;
5 – прокладка ущільнювача

Здатність до змочування характеризується граничною висотою підняття рідини по наповнювачу і часом досягнення граничної висоти підняття.

Крайовий кут змочування θ , °, визначають катетометром (або електронним мікроскопом) при температурі (зазвичай при 20 °С) як кут між дотичною до поверхні розподілу «рідина (зв'язуюче) – повітря і поверхнею підкладки з матеріалу наповнювача» (в нашому випадку – скла), яка проводилася з точки кордону розподілу «зв'язуюче – повітря – підкладка».

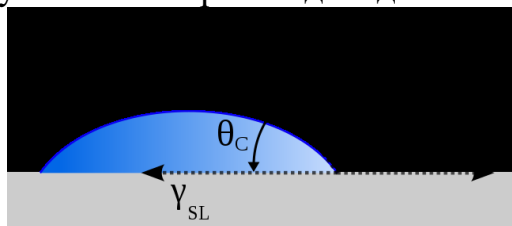


Рис. 8. До визначення крайового кута змочування; крайовий кут змочування або кут контакту θ_c ; γ_{SL} , γ_{LG} , γ_{SG} позначені відповідно як питомі вільні поверхневі енергії на межі поділу фаз:
тверде тіло-рідина (SL), рідина-газ (LG) і тверде тіло-газ (SG).

Змочувальну здатність зв'язуючого $\sigma \cos \Theta$, Н/м, визначають по максимальній висоті підйому зв'язуючих по скляному капіляру під дією сил поверхневого натягу за формулою (1.1):

$$\sigma \cos \Theta = \frac{H_{\infty} \gamma g R_o}{2}, \quad (1.1)$$

де H_{∞} – максимальна висота підйому зв'язуючого густиною γ по капіляру;
 R_o – радіус капіляру.

2.1. Експериментальна частина. Визначення крайового кута змочування

Устаткування і матеріали: предметне скло, нагрівальна плитка, термометр, дозатор (шприць) або скляна паличка, катетометр (мікроскоп), дистильована вода, чорнило, зв'язуюче на основі епоксидної смоли або епоксидна смола.

Хід роботи. Вимірюють температуру і готують менше 1 г (крапля) води, підфарбовують його декількома краплями чорнила, а також (окремо) зв'язуючого на основі епоксидної смоли.

Наносять краплю досліджуваної рідини на предметне скло.

Наводять катетометр (мікроскоп) на різкість і після деякого часу, достатнього для розтікання краплі, починають вимірювання границь краплі і крайового кута змочування.

Заміри проводять не менше 5 разів для різних крапель досліджуваних рідин.

Те ж проводять при температурі 30 °С, поміщаючи предметне скло на поверхню плитки, температуру якої задають за допомогою датчика.

Отримані експериментальні дані заносять в табл. 14.

2.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: калібрувальний скляний капіляр, смужки наповнювачів – паперу, а також тканини з різною текстурою і типом волокон, ножиці, металева лінійка, нагрівальна плитка, лінійка, кювета для визначення здатності просочуватися рідкими композиціями наповнювачів, ваги, катетометр (мікроскоп), зв'язуюче на основі епоксидної смоли (епоксидна смола), дистильована вода, чорнило, секундомір.

Хід роботи. Готують просочувальні склади у вигляді 50 г дистильованої води, підфарбовують її декількома краплями чорнила, а також готують 100 г зв'язуючого на основі епоксидної смоли.

З полотнищ тканин різної текстури і типу волокон вирізають по одній смужці розміром 100×25 мм уздовж основи і утка, а також нарізають смужки паперу того ж розміру.

У кювету (рис. 9) наливають просочувальний склад у такій кількості, щоб забезпечити занурення кінця смужок наповнювачів на 10-15 мм нижче дзеркала просочувального складу. Зразки наповнювачів підвішують на гачки з внутрішньої сторони кришки кювети. Для випрямлення зразків наповнювачів до їх кінців перед

зануренням підвішують вантажі (1-2% від розривного навантаження). Занурюють зразки наповнювачів у просочувальний склад так, щоб вони не торкалися стінок кювети і один одного, щільно закривають кришку.

Наводять катетометр (електронний мікроскоп) на різкість і відразу після занурення починають виміри підйому границь змочування з інтервалом 1-2-5-10-15 хв (залежно від швидкості змочування). Заміри припиняють після встановлення граничної висоти підйому розчину.

Те ж проводять для просочення каліброваного скляного капіляра (як правило, час просочування становить секунди чи частки секунди).

Те ж проводять для просочення при температурі зв'язуючого 30°C.

Будують кінетичні криві змочування - залежність висоти підйому кордону змочування (від рівня розчину) h від часу t , визначають граничну висоту підйому розчину h_{∞} і час досягнення граничної висоти t_{∞} .

Змочувальну здатність зв'язуючого при просочуванні ним калібрувального скляного капіляра визначають за формулою (1.1).

Аналізують вплив текстури тканини і напрямлення просочування на здатність до змочування і роблять висновки.

Отримані експериментальні дані заносять до табл. 14.

Таблиця 14

№ п/п	Матеріал (тканина, папір, скляний капіляр)	Напрямок просочування (основа/уток)	Т просочення, °C	крайовий кут змочування, θ , °C	$\sigma \cos \theta$, Н/м, (скляний капіляр)	h_{∞} , мм	t_{∞} , с
1							
1							
1							
2							
2							
2							
3							
3							
3							
4							
4							
4							
5							
5							
5							
...							

Випробування провів:

Лабораторна робота № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ СКЛОВОЛОКНИСТОГО НАПОВНЮВАЧА В ЗАТВЕРДІЛОМУ ЕПОКСИДНОМУ СКЛОПЛАСТИКУ

Наповнення полімерів дозволяє практично необмежено направлено регулювати технологічні і експлуатаційні властивості матеріалів. Властивості наповнених полімерних матеріалів конструкційного призначення, способи їх одержання та переробки у виробі в значній мірі визначаються природою полімерної матриці і наповнювача, їх об'ємним співвідношенням, характером взаємного розподілу і взаємодією на межі розподілу.

При виготовленні виробів з КМ попередньо визначаються технологічні властивості полімерних зв'язуючих: в'язкість, час гелеутворення.

Визначення часу гелеутворення є одним з важливих параметрів – воно характеризує тривалість зберігання просоченого матеріалу (препрега) і температури переробки матеріалу у виріб. Загальна тривалість процесу одержання КМ від моменту отримання замісу зв'язуючого не повинна перевищувати потроєного часу гелеутворення при кімнатній температурі.

Завдання №1. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ КОМПОНЕНТІВ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи: навчитися визначати співвідношення компонентів у термопластичному композиційному матеріалі методом випалювання і гравіметричними методами.

1.1. Теоретична частина

Одним з основних показників структури композиційного матеріалу, який впливає на властивості одержаного виробу, є співвідношення компонентів.

Масовий вміст компонентів в КМ на основі термореактивного зв'язуючого визначається методами випалювання, розчинення або гравіметричним методом.

Метод розчинення заснований на видаленні із зразка композиційного матеріалу зв'язуючого під впливом розчинника, а метод випалювання – під впливом підвищених температур (для високотемпературостійких наповнювачів).

Розрахунки за даними методам припускають відсутність пір в вихідному матеріалі. Якщо матеріал пористий, то необхідно проводити розрахунки з урахуванням цього параметра.

Найбільш швидким і неруйнівним методом контролю ступеня наповнення є гравіметричний.

1.2. Експериментальна частина

1.2.1. Визначення співвідношення компонентів за методом випалювання

Устаткування і матеріали: зразки композиційного матеріалу, ваги з точністю до 0,001 г, муфельна піч, ексикатор, тиглі.

Хід роботи. Готують не менше трьох зразків наповненого композиційного матеріалу будь-якої форми і розмірів. Маса зразка не повинна перевищувати 5 г.

Порожні тиглі попередньо прожарюють в муфельній печі при температурі $650 \pm 5^\circ\text{C}$ протягом 20 хв і охолоджують в ексикаторі.

Зразки ПКМ зважують на електронних вагах з точністю до 0,001 г і поміщають в попередньо зважені з такою ж точністю прожарені і охолоджені тиглі. Тиглі з матеріалом переносять в муфельну піч при температурі $650 \pm 5^\circ\text{C}$ на 15-20 хв, щоб випалити зв'язуюче. Потім тиглі поміщають в ексикатор і охолоджують до кімнатної температури, після чого зважують з тією ж точністю.

Масові частки наповнювача а й зв'язуючого з у відсотках визначають із співвідношень:

$$C_a = \frac{m_a}{m_{\text{КМ}}}, \quad C_c = 1 - C_a,$$

де m_a – маса залишку після прожарювання, г;

$m_{\text{КМ}}$ – вихідна маса зразка композиційного матеріалу, м.

Для визначення об'ємного вмісту арматури P_a необхідно знати щільність композиційного матеріалу і арматури

$$P_a = \frac{m_a / \rho_{\text{КМ}}}{m_{\text{КМ}} / \rho_a},$$

де $\rho_{\text{КМ}}$, ρ_a – щільності композиційного матеріалу і арматури відповідно, г/см³.

Наведені розрахунки припускають відсутність пір у вихідному матеріалі. Якщо матеріал пористий, то необхідно проводити розрахунки з урахуванням пористості. Якщо відома щільність матриці, то можна визначити об'ємний вміст пор P_p

$$P_p = 1 - \frac{m_a / \rho_a + (m_{\text{КМ}} - m_a) / \rho_c}{m_{\text{КМ}} / \rho_{\text{КМ}}}, \quad \text{або} \quad P_p = 1 - (P_a + P_c),$$

де $\rho_{\text{КМ}}$, ρ_a , ρ_c – щільності композиційного матеріалу, арматури і зв'язуючого відповідно, г/см³.

За результат приймають середнє арифметичне значення всіх експериментів. За результатами експерименту заповнюють протокол. Порівнюють отримане значення ступеня наповнення із заданою спочатку, роблять висновок.

1.2.2. Визначення змісту компонентів гравіметричним методом

Устаткування і матеріали: зразки композиційного матеріалу, ваги з точністю до 0,001 г.

Хід роботи. Беруть зразки композиційного матеріалу будь-якої форми і розмірів. Визначають щільність композиту по одній зі стандартних методик:

гідростатичним зважуванням або методом прямого обміру і зважування. Щільності вихідних компонентів беруть з довідника (Додаток 5) або визначають експериментально.

Об'ємний вміст арматури розраховують за співвідношенням

$$P_a = \frac{\rho_{\text{КМ}} - \rho_c}{\rho_a - \rho_c},$$

де $\rho_{\text{КМ}}$, ρ_a , ρ_c – щільності композиційного матеріалу, арматури і зв'язуючого відповідно, г/см³.

Гравіметричний метод є точним тільки в разі повної відсутності в композиті пустот.

За результат приймають середнє арифметичне не менше трьох результатів експерименту. Порівнюють отримане значення ступеня наповнення із заданою спочатку, роблять висновок.

За результатами експерименту заповнюють протокол.

Порівнюють результати визначення співвідношення компонентів по запропонованим методикам і роблять висновок.

ПРОТОКОЛ № _____ від _____

Визначення вмісту компонентів в композиційному матеріалі.

1. АПАРАТУРА: (застосовуване устаткування і прилади, тип, марка, основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип, марка або склад зв'язуючого, ГОСТ, дата виготовлення)
3. ЗРАЗКИ: (тип, розміри, кількість, метод виготовлення)
4. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ: (температура)
5. Результати випробувань:

5.1. Метод випалювання

Таблиця 15.

Матеріал	№ зразка	m_T , Г	$m_{\text{КМ}}$, Г	m_a , Г	C_a	P_a	C_c	P_c	P_p
	1								
Середнє арифметичне значення									
Середнє квадратичне відхилення									
Коефіцієнт варіації									

Випробування провів:

5.2. Гравіметричний метод

Таблиця 16.

Матеріал	№ зразка	$\rho_{\text{КМ}}$, Г/см ³	ρ_a , Г/см ³	ρ_c , Г/см ³	C_a	P_a	C_c	P_c
	1							
	...							
Середнє арифметичне значення								
Середнє квадратичне відхилення								
Коефіцієнт варіації								

Випробування провів:

Лабораторна робота № 9
ЗНАЙОМСТВО З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ І ПРИНЦИПОМ РОБОТИ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБЛАДНАННЯ
(на прикладі ультразвукової ванни моделі «УЗУ-0,25»).

Завдання № 1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПРИНЦИП РОБОТИ
УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ВАННИ

Мета роботи: ознайомитися з основними характеристиками і принципом роботи ультразвукової ванни моделі «УЗУ-0,25».

1.1. Теоретична частина



Рис. 9. Загальний вигляд ультразвукової установки типу УЗУ-0,25

1.1.1. Призначення установки

Ультразвукова установка типу УЗУ-0,25 (рис. 9) призначена в основному для очищення дрібних деталей.

1.1.2. Технічні характеристики

Ультразвукова установка типу УЗУ-0,25 має наступні основні параметри і розміри:

параметр	значення
Напруга живлення установки від мережі	200 - 230 В
частота мережі	50 Гц
Потужність, споживана від мережі P , не більше	0,45 кВА
Частота робоча f	18+7,5%, кГц
потужність вихідна P_e	0,25+20%, кВт
Габарити генератора, мм:	
в плані не більше	380 x 360
висота не більше	210
Габарити ванни:	

в плані не більше	320 x 270
висота не більше	300
Внутрішні габарити робочої ванни при глибині 158 мм	200 x 168 мм
Маса установки в комплекті (генератор + ванна)	30 кг

1.1.3. Опис конструкції ультразвукової ванни

Ультразвукова ванна складається з відсіку ультразвукового очищення.

У дно відсіку ультразвукового очищення вмонтовані три пакетних перетворювачі. Пакет перетворювача складається з двох п'єзоелектричних пластин з матеріалу ЦТС-19 (цирконат-титанат свинцю), двох частотно-знижувальних накладок (робочої накладки з дюралюмінію Д16, відбиваючої накладки зі сталі марки ст. 45) та центрального болта з нержавіючої сталі марки ст. 12Х18Н9Т, головка якого є випромінюючим елементом перетворювача.

З'єднання елементів перетворювача до ванни здійснюється за допомогою центрального болта з нержавіючої сталі, що проходить через відповідні отвори в дні ванни, п'єзоелектричних пластинах, верхній накладці і нагвинчуваній нижній (відбиваючій) накладці. Поліпшення контакту між елементами перетворювача досягається за допомогою м'яких мідних, нікельованих прокладок товщиною (0,2 - 0,3) мм.

Ультразвукова ванна виготовлена з нержавіючої сталі марки 12Х18Н9Т товщиною 1,0 мм. На кожусі ванни розташовані штуцер, ручка крана з написом «Злив», клема для заземлення ванни і штепсельної вилки для з'єднання з генератором.

На рис. 10 показаний (зверху) відсік для ультразвукового очищення з трьома ультразвуковими перетворювачами.

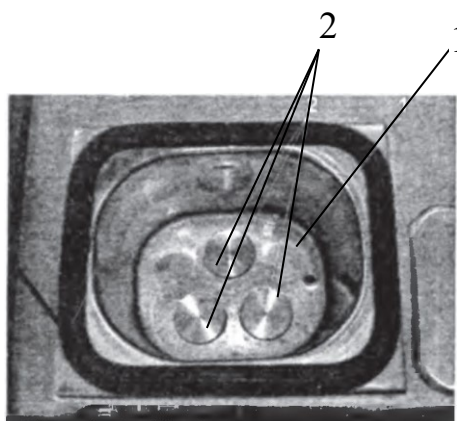


Рис. 10. Відсік для ультразвукового очищення 1 з трьома ультразвуковими перетворювачами 2.

1.1.4. Інструкція з експлуатації

1. Установка призначена для роботи в приміщенні при температурі навколишнього повітря в інтервалі від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості не

більше 80% при $T = + 35\text{ }^{\circ}\text{C}$. У приміщенні не повинно бути парів кислот, лугів і струмопровідного пилу.

2. У безпосередній близькості від установки повинна бути встановлена електрична розетка, розрахована на потужність не менше 0,5 кВА. Живлення до розетки підводиться проводом в ізоляції перерізу не менше 0,75 мм².

3. Заземлення генератора і ванни виконати проводом в ізоляції перерізу не менше 2,5 мм². Опір заземлення повинен бути не більше 4 Ом.

4. Підготовка до роботи.

Установку необхідно вийняти з пакувальної тари і далі йде:

- а) Підключити дріт заземлення до клем «Земля» на генераторі і на ванні;
- б) З'єднати спеціальним кабелем генератор з ванною;
- в) Підключити до генератора кабель зі штепсельною вилкою;
- г) Поставити тумблер живлення в положення виключена (вниз);
- д) Поставити зливний кран ванни в положення «закрито» («З»);
- е) Залити в ультразвукової відсік розчині миючого засобу або воду до рівня 120 - 130 мм;

ж) Включити вилку кабелю живлення в розетку електромережі з напругою 220 В і частотою 50 Гц;

з) Випробування установки проводиться шляхом включення тумблера в верхнє положення, при цьому повинна загорітися сигнальна лампочка і з'явитися робочий звук кавітуючій рідини.

Про появу кавітації можна зробити висновок також за утворенням на перетворювачах ванни найдрібніших рухомих бульбашок.

Допустимий рівень звукового тиску для робочих місць ультразвукових установок згідно ГОСТ 12.1.001-75 не повинен перевищувати наведених нижче величин:

Середньгеометрична частота 1/3 – октавних полос, Гц		
12500	16000	≥ 20000
рівень звукового тиску, дБ		
75	85	110

Примітка: Замір рівня звукового тиску за методикою ГОСТ 12.1.001-75 при рівні миючого розчину 120-130 мм.

При роботі ультразвукового устаткування повинен бути повністю виключений безпосередній контакт рук робітників з рідиною, ультразвуковим інструментом і деталями.

У тих випадках, коли вимикання перетворювачів при роботі з ультразвуковими ваннами небажано, деталі слід занурювати в ванну в сітках, забезпечених ручками з віброізолюючим покриттям.

При контакті з перетворювачем, деталями і озвучуваною рідиною необхідно використовувати спеціальні рукавички (гумові з бавовняною підкладкою) або дві пари рукавичок (внутрішні бавовняні, зовнішні гумові). Під час роботи не допускається змочування внутрішніх бавовняних рукавичок.

У тих випадках, коли незручно користуватися рукавичками, для захисту рук працюючих необхідно використовувати також пінцети, затискачі і щипці з віброізолюючим покриттям поверхні рукояток. Для віброізоляції можна використовувати один з наступних матеріалів: пориста гума товщиною 5 мм, поролон товщиною 2 мм, повсть завтовшки 2 мм, латекс товщиною 5 мм і т.п.

Після виконання операцій, перерахованих у пункті 5 інструкції по експлуатації, приступають до очищення дрібних деталей, дотримуючись інструкції.

1.1.5. Інструкція з технології ультразвукового очищення

1. З'ясувати характер забруднення деталей.

2. В залежності від характеру забруднення і матеріалів в ультразвукову ванну наливається миюче середовище.

В якості миючих середовищ використовуються водні розчини лужних солей в поєднанні з ПАР або пожежобезпечні органічні розчинники, наприклад, такі, як хладон (фреон) 113 і ін.

Установка не призначена для використання ЛЗР.

3. Температурний режим і час очищення устатковується дослідним шляхом і залежать від характеру забруднення деталей, що очищаються.

Час очищення в ультразвуковій ванні коливається від **0,5 с до 3-х хв.**

Максимально допустима температура миючого середовища + **90°C**.

4. Технологічний процес ультразвукового очищення складається з наступних операцій:

а) попереднього замочування деталей. При ультразвуковому очищенні в лужному розчині попереднє замочування проводиться в бензині, при ультразвуковому очищенні в органічному розчиннику попереднє замочування проводиться в тому ж розчиннику, що і ультразвукове очищення;

б) ультразвукове очищення в одному з миючих середовищ (таблиця № 17);

в) промивання.

Промивання від лужних розчинів проводиться в гарячій (бажано в проточній) воді з температурою від (60 - 90) °C.

Промивання деталей після ультразвукового очищення в органічних розчинниках проводиться в тому ж середовищі, що і ультразвукове очищення.

г) Пасивування.

д) Сушка в струмені гарячого повітря або в термостаті.

Залежно від характеру забруднення і матеріалу деталей, а також від наявності подальшої обробки деталей після ультразвукового очищення операції «а» і «г» у ряді випадків можуть бути виключені.

Під час очищення підвіски до деталей рекомендується періодично струшувати.

1.1.6. Догляд за установкою, зберігання і транспортування.

- Установку необхідно утримувати в чистоті, періодично видаляючи пил з елементів схеми шляхом продувки повітрям.

- Стежити за надійністю з'єднань висновків транзисторів П210Б зі схемою генератора.

- Періодично проводити огляди і профілактичні ремонти установки.

- Періодично проводити замірювання температури миючої рідини, не допускаючи підвищення її більш $+ 90^{\circ}\text{C}$.

- Перед зміною миючої рідини генератор слід вимкнути, не допускаючи роботи перетворювачів без навантаження. Після зміни миючої рідини слід охолодити перетворювачі до температури свіжої рідини і включити генератор.

- Транспортування установки повинно проводитися в спеціальному тарному ящику.

Упакована установка повинна зберігатися в умовах, що забезпечують захист від атмосферних опадів при температурі навколишнього повітря від мінус 5°C до плюс 35°C .

Примітка. Ультразвукова ванна може бути використана також для зняття легких окислів з дрібних деталей.

1.2. Експериментальна частина

1.2.1. Вимірювання температури озвучуваного рідкого середовища у часі

Устаткування і матеріали: ультразвукова ванна, термометр (термопара), досліджуване рідке середовище, лабораторний штатив, секундомір, очищений від забруднень матеріал, тонкостінний хімічний стакан або сітки, забезпечені ручками з віброізолюючим покриттям.

Залежно від характеру забруднення і матеріалів слід вибирати миюче середовище. У разі відсутності тринатрійфосфату для очищення сталевих деталей може бути використана кальцинована сода.

Час очищення в ультразвуковій ванні коливається від 0,5 до 3 хв. Максимально допустима температура миючого середовища $+ 90^{\circ}\text{C}$.

Перед зміною миючої рідини генератор слід вимкнути, не допускаючи роботи перетворювачів без рідини у ванні.

Очищення деталей в ультразвуковій ванні здійснюють в такій послідовності. Тумблер живлення ставлять в положення «Викл.», зливний кран ванни - в положення «Зачинено». В ультразвукову ванну заливають миюче середовище до рівня 120 - 130 мм, вилку кабелю живлення включають в розетку електричної мережі напругою 220 В.

Проводять випробування установки: включають тумблер в положення «Вкл.», При цьому повинна загорітися сигнальна лампа і з'явитися робочий звук кавітуючої рідини. Про появу кавітації можна судити також за утворенням на перетворювачах ванни найдрібніших рухомих бульбашок.

Після випробування установки її слід відключити від мережі, завантажити в ванну забруднені деталі і почати обробку. Для цього деталі, котрі піддаються очищенню, завантажуються в тонкостінний хімічний стакан з травильним розчином. Потім стакан поміщається в ультразвукову ванну, заповнену водою,

безпосередньо на перетворювач. Озвучування деталей в травильному розчині проводиться протягом 0,5-3 хв.

В процесі ультразвукової обробки вимірюють також зміну температури озвучуваного рідкого середовища. Дані заносять в табл. 17. Будують на графіку зміну температури рідкого середовища T від часу ультразвукової обробки τ .

Наступні операції здійснюються за загальною схемою.

ПРОТОКОЛ № ____ від _____
Дослідження параметрів процесу ультразвукового очищення.

1. АПАРАТУРА: (застосовуване УЗ-обладнання та прилади, тип, марка, основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип, марка або склад рідкого середовища)
3. ЗРАЗКИ: (тип, розміри, кількість, метод виготовлення)
4. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ: (температура)
5. Результати випробувань:

Таблиця 17.

Параметр	рідке середовище	Рівень рідини у ванні (мм)	Частота $f_{\text{УЗ}}$, кГц	Час озвучування рідкого середовища τ , с											
				0	30	45	60	75	90	120	150	180	210	240	300
Температура T , °C															
Середнє арифметичне значення															
Середнє квадратичне відхилення															
Коефіцієнт варіації															

Випробування провів:

1.2.2. Визначення параметрів ультразвукової кавітаційної обробки

Устаткування і матеріали: ультразвукова ванна, термометр (термопара), досліджуване рідке середовище, лабораторний штатив, секундомір, очищений від забруднень матеріал у вигляді тонкої алюмінієвої фольги, штанген-циркуль, лінійка, прозора пластина із органічного скла.

Порядок виконання роботи.

1. З ультразвукової ванни зняти верхню звукозахисну кришку.
2. За допомогою ручки з написом «Злив» закрити кран на зливному штуцері ванни, для чого перевести його в положення закрито («З»).
3. За допомогою штангенциркуля виміряти діаметр випромінюючої накладки 3 перетворювача в ванні. Отримане значення занести до табл. 18 в графу « $d_{\text{из}}$ ».
4. За допомогою мірної ємності залити в ванну (до верхньої горизонтальної мітки, нанесеної на внутрішній поверхні відсіку ультразвукової обробки ванни (приблизно 2 л води, бажано дистильованої). Кількість залитої води (m) занести до табл. 18.
5. Провести випробування установки шляхом включення тумблера на генераторі у верхнє положення. При цьому повинна загорітися сигнальна

лампочка і з'явитися робочий звук кавітуючої рідини. Про появу кавітації можна судити за утворенням на перетворювачах ванни найдрібніших рухомих бульбашок. Тривалість випробування не повинна перевищувати 10 с.

6. На верхню частину ванни встановити прозору пластину з органічного скла, попередньо виконавши в ній технологічні отвори над випромінювачами (для розміщення капілярів) і в центрі (для розміщення термометра).

7. У зроблений в пластині з органічного скла отвір встановити рідинний термометр (див. рис. 11) таким чином, щоб його вимірювальний резервуар занурився в воду на глибину не менше 5 - 10 мм.

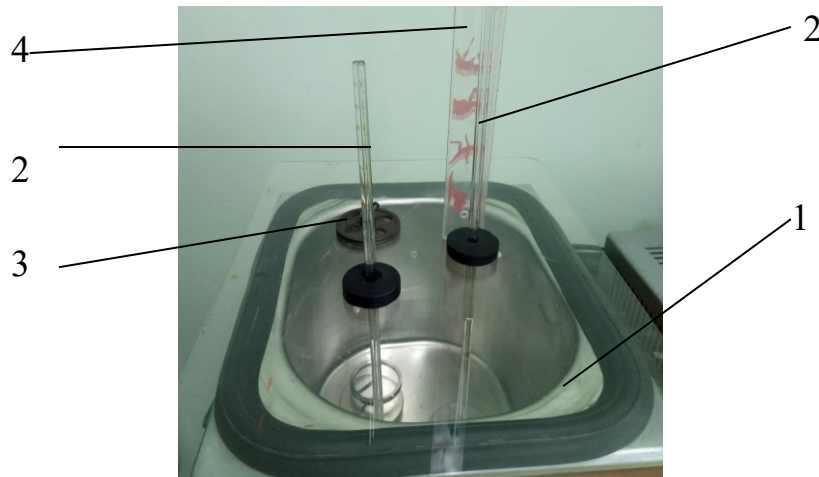


Рис. 11. Загальний вигляд лабораторної установки для вивчення ультразвукового звукокапілярного ефекту:

- 1 - ультразвукова установка УЗУ-0,25;
- 2 - капілярна трубка з нанесеними поділками;
- 3 - пристосування для закріплення скляної капілярної трубки;
- 4 – мірна лінійка з поділками

8. Після закінчення **1,5-2 хв** після встановлення теплової рівноваги зняти показання на шкалі термометра і зафіксоване значення температури води занести в табл. 18 в графу « T_1 , °С».

9. Перевести тумблер на генераторі в верхнє положення і одночасно запустити секундомір.

10. Провести озвучування води у ванні протягом $\tau = 2$ хв, після чого відключити генератор, перевівши тумблер в нижнє положення.

11. Зняти показання по шкалі термометра і зафіксоване значення температури води занести в табл. 18 в графу « T_2 , °С».

12. Розрахувати значення акустичної потужності, випромінюваної перетворювачем в воду, за такою залежністю:

$$P_{ак} = \frac{c \cdot m \cdot (T_2 - T_1)}{\tau},$$

де c – теплоємність води ($c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/кг · К);

m – маса води, що знаходиться в ванні, кг;

T_1 і T_2 – відповідно початкова температура води і температура після її озвучування, °C;

τ – тривалість озвучування води, с. При цьому слідкувати за розмірністю.

13. Визначити значення інтенсивності ультразвуку у воді I , Вт/м², приймаючи, що площа випромінюючої поверхні джерела дорівнює сумарній площі трьох випромінюючих накладок п'єзоелектричних перетворювачів S_Σ , по формулі

$$I = \frac{P_{ак}}{S_\Sigma}.$$

14. Визначити електроакустичний ККД перетворювача η_{ea} , %, що характеризує втрати в процесі перетворення електричної енергії в акустичну, по залежності

$$\eta_{ea} = \frac{P_{ак}}{P_e},$$

де $P_{ак}$ – акустична потужність;

P_e – електрична потужність, що підводиться від генератора до перетворювачів (див. технічні характеристики ультразвукової установки УЗУ-0,25).

Результати обчислень занести в табл. 18.

Таблица 18.

№ п/п	Виміряно						Обчислено		
	$d_{из}, \text{мм}$	$m, \text{кг}$	$S_\Sigma, \text{м}^2$	$\tau, \text{с}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$P_{ак}, \text{Вт}$	$I, \text{Вт/м}^2$	$\eta_{ea}, \%$

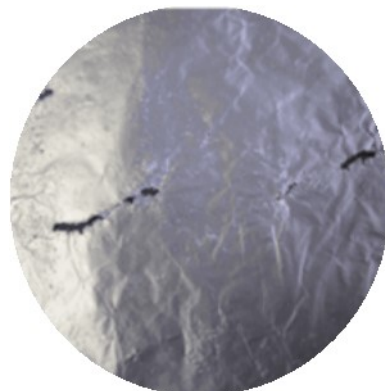
1.2.3. Оцінка кавітаційної стійкості забруднення і матеріалу

1.2.3.1. Теоретична частина

При впливі ультразвуку на поверхню натягнутої алюмінієвої фольги на круглій рамці петлі, вміщеної в заповнений водою резервуар ультразвукової ванни, на поверхні алюмінієвої фольги спостерігаються сліди кавітаційної ерозії (рис. 12).



а



б

Рис. 12. Типові сліди кавітаційної ерозії на алюмінієвій фользі в результаті впливу ультразвуку за режиму кавітації (а) і експериментальний зразок (б).

Тобто наявність перфорованих плям і отворів у фользі вказує на наявність кавітаційних «гарячих точок» над місцем розташування випромінювачів ультразвуку. Через низьку енергії і нерівномірне поширення ультразвуку близько випромінювачів, сліди ерозії спостерігаються переважно у вигляді точкових плям або окремих ділянок неправильної форми.

Кавітаційну ерозію можна оцінити як якісно, так і кількісно, у т.ч. за допомогою відповідних методик і програмних засобів обробки зображень [<http://soft.mydiv.net/win/download-ImageJ.html>] (у вигляді поверхні фольги зі слідами ерозії).

1.2.3.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: ультразвукова ванна, термометр (термопара), досліджуване рідке середовище, лабораторний штатив, секундомір, очищений від забруднень матеріал у вигляді тонкої алюмінієвої фольги, перманентний маркер, лінійка, прозора пластина із органічного скла з технологічними отворами.

Мета цієї роботи - дати оцінку кавітаційної стійкості забруднення, що містить поверхня оброблюваного матеріалу, і кавітаційної стійкості самого матеріалу, а також зробити висновок про доцільність застосування ультразвукового методу очищення забруднень і про характер руйнування для алюмінієвої фольги.

Для цього:

1. Виміряти товщину алюмінієвої фольги δ і занести до табл. 19. На дротяній (круглій) петлі (рис. 13, а) необхідно закріпити шматочок фольги (рис. 13, б) і на неї нанести забруднення за допомогою перманентного маркера.

2. Після цього треба занурити дротяну петлю зі шматочком закріпленої фольги у ванну і зорієнтувати її так, щоб поверхня фольги знаходилася навпроти однієї з випромінюючих накладок перетворювача, паралельно їй і на відстані, що не перевищує $L = 4 - 5$ см (оптимальна відстань L підбирається експериментально).



а



б

Рис. 13. Дротяна петля (а) із закріпленою на ній фольгою (б) з попередньо нанесеним забрудненням

3. Перевести тумблер на генераторі у верхнє положення і одночасно запустити секундомір.

4. Провести озвучування води у ванні протягом максимум $\tau = 2$ хв. Після вибраного проміжку часу ультразвукової обробки виймати зразки алюмінієвої фольги із зразками ерозії та здійснювати їх фотографування та позначення. Під час озвучування води у ванні спостерігати за характером впливу кавітуючої рідини на поверхню фольги (на її поверхні виникають короточасні деформації у вигляді заглиблень сферичної форми).

5. Відключити генератор, перевівши тумблер на ньому в нижнє положення, і витягти з ванної дротяну петлю з алюмінієвою фольгою.

6. Дати висновок про кавітаційну стійкість забруднення на алюмінієвій фользі, оцінивши (у т.ч. за допомогою мікроскопа) стан поверхні фольги на її чистій і забрудненій ділянках.

7. Вивчити (у т.ч. за допомогою мікроскопа) характер руйнування фольги, порівнявши площу поверхні фольги до S^o_ϕ (для цього взяти у викладача зразок, що не піддавався обробці) і після S^y_ϕ ультразвукового очищення.

Обчислення площі можна здійснювати, наприклад, шляхом нанесення на сфотографований зразок фольги, який поміщається на екран ПК, рівномірної сітки з комірками розмірами приблизно 1 мм х 1 мм, і підрахунку кількості відповідних комірок, на які припала ерозія (рис.14, рис. 15). Або розмістити фотографію в програмі ACAD, зарисувати площу ерозії та програмно обчислити її.

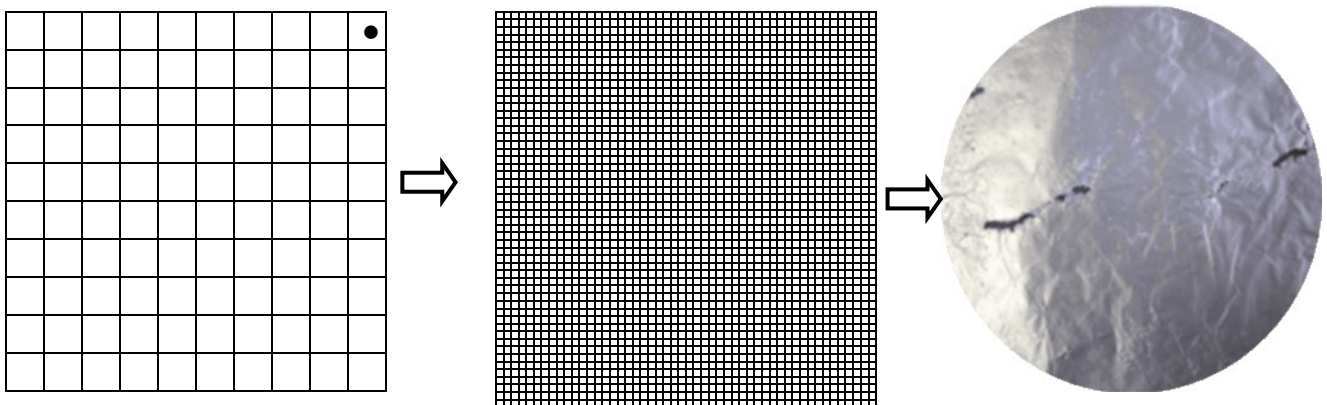


Рис. 14. Послідовність комп'ютерної побудови регулярної сітки 50 х 50 мм для її нанесення на досліджуваний зразок фольги, обробленої ультразвуком

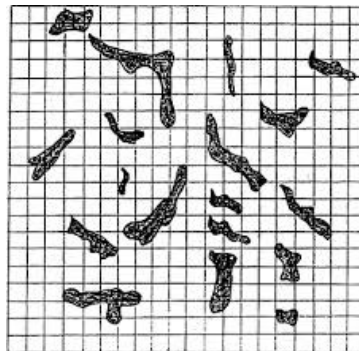


Рис. 15. Приклад розміщення препарату в полі зору окуляра мікроскопа з мікрометричною сіткою (схематичне зображення точкового методу для кількісного визначення включень або процентного вмісту фаз)

8. Результати обчислень занести до табл. 19.

Таблиця 19.

№ п/п	δ , мкм	L , мм	орієнтовний час озвучування τ , с							S^o_{ϕ} , мм ²	S^y_{ϕ} , мм ²
			0	15	30	45	60	90	120		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
.....											

9. Розмістити у звіті до поточного завдання з лабораторної роботи фотографії руйнувань алюмінієвої фольги в залежності від відстані до випромінювача L і часу озвучування τ , наприклад, за наведеною нижче схемою (рис. 17):

<i>Сфотографований зразок алюмінієвої фольги після кавітаційної обробки</i>	<i>Сфотографований зразок алюмінієвої фольги після кавітаційної обробки</i>	<i>Сфотографований зразок алюмінієвої фольги після кавітаційної обробки</i>
Характер руйнування алюмінієвої фольги товщиною $\delta = \dots$ мкм при $L = \dots$ мм та $\tau = 15$ с.	Характер руйнування алюмінієвої фольги товщиною $\delta = \dots$ мкм при $L = \dots$ мм та $\tau = 30$ с.	Характер руйнування алюмінієвої фольги товщиною $\delta = \dots$ мкм при $L = \dots$ мм та $\tau = 45$ с.

Рис. 17. Шаблон розміщення фотографій руйнувань алюмінієвої фольги

Зміст звіту

1. Ціль роботи.
2. Інструменти і приналежності.
3. Короткі відомості про явища, покладені в основу ультразвукового очищення.
4. Основні відомості про технологію ультразвукового очищення.
5. Склад і конструкція ультразвукової установки УЗУ-0,25.
6. Результати вимірювань і розрахунків.
7. Оцінка кавітаційної стійкості забруднення і кавітаційної стійкості матеріалу, а також висновок про доцільність застосування ультразвукового методу очищення забруднень для алюмінієвої фольги.

Контрольні питання

1. Які основні явища лежать в основі механізму ультразвукового очищення?
2. У чому полягає сутність виникнення акустичної кавітації?
3. Як класифікуються забруднення з точки зору ультразвукового очищення?
4. Як на ефективність процесу ультразвукового очищення впливають поверхневий натяг рідини, її в'язкість, газовміст і температура?
5. Як на ефективність процесу ультразвукового очищення впливають амплітуда і частота коливань?
6. З яких основних операцій складається технологічний процес ультразвукового очищення?
7. Назвіть основні методи ультразвукового очищення і області їх застосування.
8. З яких основних вузлів складається ультразвукова установка УЗУ-0,25?
9. Перетворювачі якого типу застосовані в ультразвукової установці УЗУ-0,25?
10. У чому полягає методика визначення електроакустичного ККД ультразвукового перетворювача?

Література

1. Киселев, М.Г. Ультразвук в технологии машино- и приборостроения: учебное пособие / М.Г. Киселёв, В.Т. Минченя, Г.А. Есьман. - Минск: Тесей, 2003. - 424 с.
2. Ультразвук / под ред. И.П. Голяминой. - М.: Сов. энцикл., 1979. - 400 с.

Лабораторна робота № 10 ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАПІЛЯРНОГО ЕФЕКТУ

1.1. Теоретична частина

Завдання № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ КАПІЛЯРНОГО ПІДЙОМУ РІДИНИ ПІД ДІЄЮ УЛЬТРАЗВУКУ

Мета роботи: навчитися моделювати і пояснювати звукокапілярний ефект.

Ультразвуковий капілярний ефект полягає в тому, що під дією ультразвукових коливань збільшується висота підйому рідин в капілярах і прискорюється сам процес проникнення рідин в капіляри. При цьому час просочення скорочується в 3 – 4 рази і більше.

Таким чином, якщо в рідину над вібратором ультразвукового випромінювача опустити капіляр, то рівень рідини в трубці буде вище, ніж поза нею. Ефект капілярного підняття рідини добре відомий і пояснюється дією сил поверхневого натягу.

Якщо тепер включити ультразвук, то стовпчик рідини в капілярі стане ще вище, тому що ультразвукова хвиля здійснює радіаційний тиск на поверхню рідини в капілярі, і, оскільки воно спрямоване в бік, протилежний напрямку сили тяжіння, рідина підніметься по капіляру. Якщо рівень рідини в капілярі при включенні ультразвуку змінився на висоту h (рис. 14), то радіаційне тиск P_R дорівнює:

$$P_R = \rho \cdot g \cdot h, \quad (1)$$

де ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

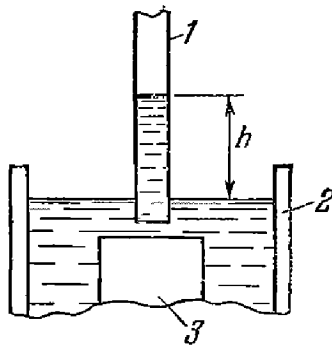


Рис. 14. До вимірювання радіаційного тиску за допомогою капіляра:

1 – капіляр, 2 – посудина з рідиною,
 3 – кінець вібратора низькочастотного випромінювача.

За відомим радіаційним тиском P_R (1) можна обчислити інтенсивність ультразвуку I :

$$I = 0,5 \cdot P_R \cdot c = 0,5 c \cdot \rho \cdot g \cdot h, \quad (2)$$

де c – швидкість поширення ультразвуку в рідкому середовищі (визначається за довідником).

Таким чином, користуючись капіляром, можна виміряти інтенсивність ультразвуку. При певних умовах рідина в капілярі піднімається під дією ультразвукової хвилі на висоту, що в десятки і сотні разів перевищує очікувану при дії тільки радіаційного тиску.

У склянку налейте воду і опустіть в неї, не торкаючись вібратора, скляну трубку (капіляр) з внутрішнім діаметром 0,5 – 2 мм. Включивши генератор, можна отримати ультразвук максимальної інтенсивності. При цьому стовпчик води в капілярі піднімається на висоту не більше 1 – 3 мм. За формулою (2) неважко розрахувати, що такої зміни рівня води відповідає інтенсивність ультразвуку менше 1 Вт/см². Цей результат непогано узгоджується з результатами вимірювання інтенсивності ультразвуку у воді за допомогою радіометра.

Якщо доторкнутися кінцем трубки до вібратора і поступово переміщати його по торця (при необхідності потрібно злегка підлаштувати генератор), то можна виявити, як раптом ривками стовпчик води в капілярі почне рости і через кілька секунд поверхню рідини виявиться на висоті 50-60 мм (рис. 15).

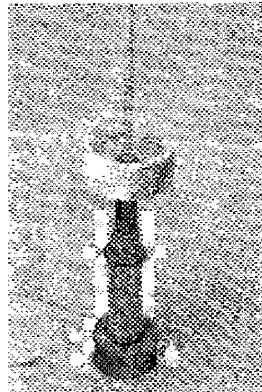


Рис. 15. Прояв звукокапілярного ефекту

Якщо вдало підібрати капіляр, вібратор випромінювача і добре налаштувати генератор, то можна домогтися підняття води до висоти 20-30 см. Це, безумовно, новий ефект, який не можна пояснити одним лише радіаційним тиском.

На рис. 16 наведені типові експериментальні залежності висоти (крива 1) і швидкості (крива 2) підйому води в скляному капілярі з квадратним перетином 0,35 x 0,35 мм² від часу впливу ультразвуку. З цих даних видно, що рівень води в капілярі за рахунок звукокапілярного ефекту перевищує рівень, обумовлений силами поверхневого натягу (при відсутності впливу ультразвуку), більше, ніж в 10 разів.

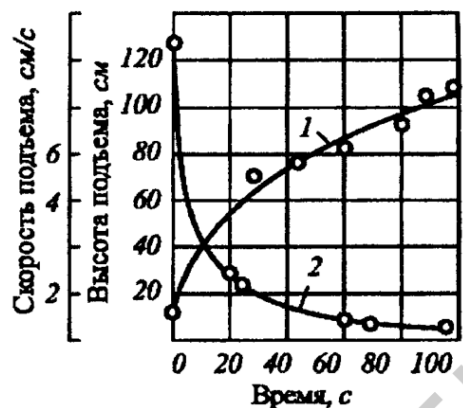


Рис. 16. Висота (1) і швидкість підйому (2) води в скляному капілярі в залежності від часу впливу ультразвуку

Максимальна висота підйому рідини в капілярі h досягається при певній амплітуді коливальних зсувів A_o робочої поверхні випромінювача, а її подальше збільшення призводить до зниження h . Такий характер залежності $h(A_o)$ пояснюється закономірностями випромінювання звуку в режимі кавітації.

Із зростанням амплітуди коливальних зсувів A_o випромінювана потужність спочатку збільшується, а потім, у міру розвитку кавітації і зниження в результаті цього хвильового опору рідини, починає зменшуватися. В результаті цього, починаючи з деяких значень A_o , зменшується й інтенсивність звуку у торця капіляра, що й визначає активність кавітаційних процесів. Із зростанням частоти коливань висота і швидкість підйому води по капіляру при однаковій інтенсивності ультразвуку знижуються.

1.2. Експериментальна частина

Устаткування і матеріали: ультразвукова ванна, калібровані шприци з голкою, штатив, мікроскоп, мірна лінійка, рідке середовище, лабораторний штатив, секундомір.

Пристрій і принцип роботи пристосування пояснюються схемою, наведеною на рис. 17. Лабораторна установка для дослідження звукокапілярного ефекту складається з верхньої основи 1 (рис. 17, а), виконаної у вигляді пластини з органічного скла, яка встановлюється на верхню площину ванни 2. Капілярна трубка 3 встановлюється в пристосуванні і фіксується за допомогою стопора 4. При ослабленні стопора 4 капілярна трубка 3 отримує можливість вертикального переміщення, що дозволяє регулювати відстань L від нижнього торця капіляра до випромінюючої поверхні п'єзокерамічних перетворювачів 5.

Лабораторна установка використовується наступним чином.

Від генератора ультразвукових коливань 7 (типу УЗДН-1) електричні імпульси подаються на п'єзоелектричні перетворювачі. В результаті ультразвукові коливання з поверхні випромінюючів 5 подаються до ванни 2 з досліджуваною рідиною, в якій поблизу від випромінювачів 5 виникають зони 6 активних кавітаційних процесів.

При малих значеннях відстані L від торця капіляра до випромінюючої поверхні 5 торець капіляра 3 знаходиться в даній зоні, в результаті чого в капілярній трубці 3 спостерігається підйом рівня рідини на значну висоту h щодо рівня рідини у ванні. При цьому чим менше відстань L , тим вище рівень підняття рідини в капілярі h (рис. 17, а).

Відстань від рівня рідини у ванні до її верхньої площини $h_{жс}$ фіксується за допомогою пластмасової лінійки, а висота підйому $h_{кан}$ рівня рідини в капілярній трубці 3 щодо основи 1 (поверхні кришки з органічного скла) визначається за допомогою поділок, нанесених на поверхню капіляра (рис. 17, а).

У міру збільшення відстані L (рис. 17, б) інтенсивність кавітаційних процесів під торцем капіляра зменшується, що призводить до зменшення висоти підйому h . При великих значеннях відстані L виникає ситуація, коли торець капіляра виходить із зони активних кавітаційних процесів (рис. 17, в). В результаті цього висота підйому рівня рідини в капілярі зменшується до значення $h_{кан}$, викликаного дією тільки капілярного тиску.

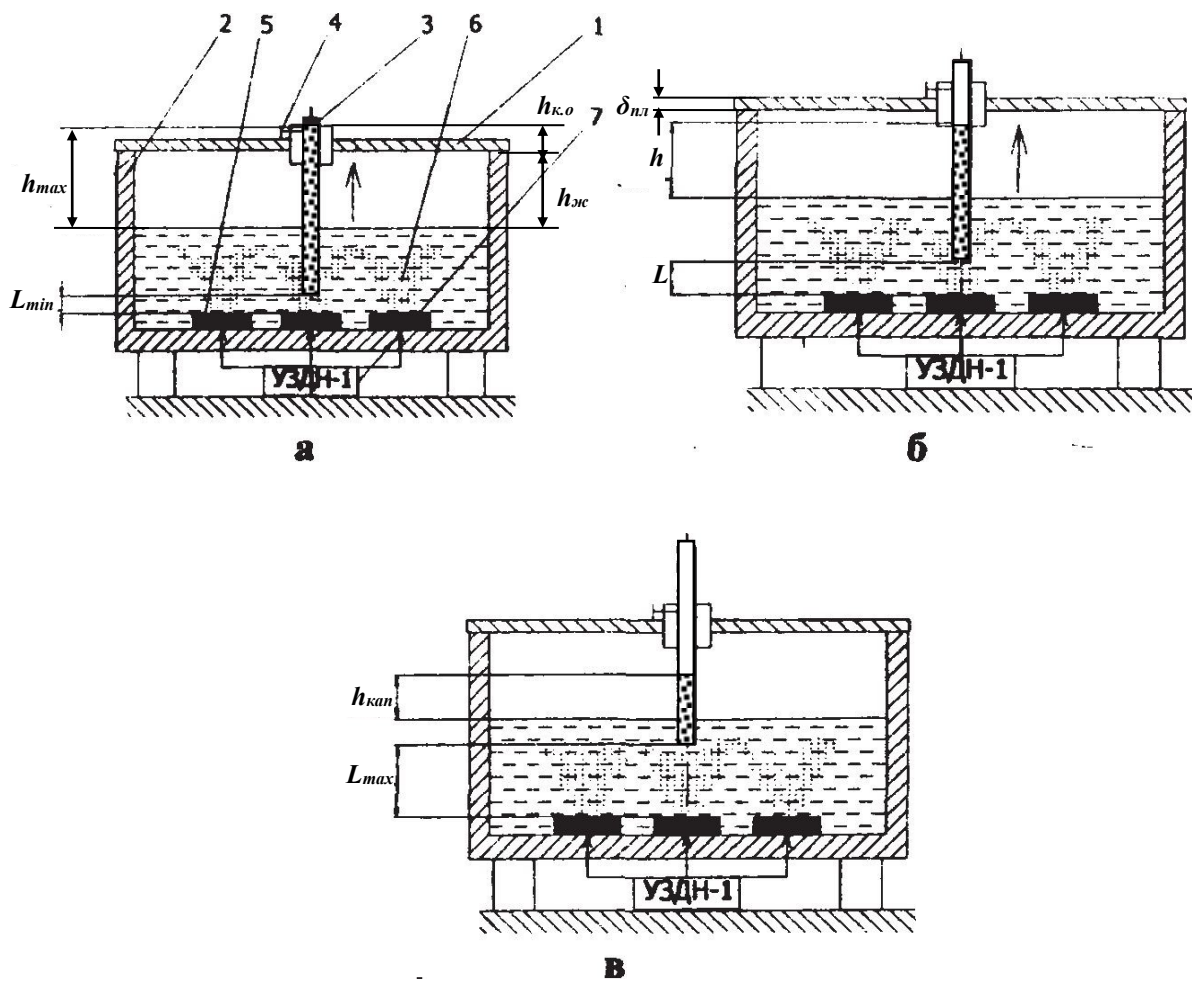


Рис. 17. Схема лабораторної установки для дослідження звукокапілярного ефекту: *а* – максимальний підйом рівня рідини при мінімальній відстані торця капіляра 3 від випромінюючої поверхні перетворювачів 5; *б* – проміжне положення торця капіляра 3 щодо випромінюючої поверхні перетворювачів 5; *в* – мінімальний підйом рівня рідини при виході із зони активних кавітаційних процесів;

$h_{жс}$ – відстань від дзеркала рідини у ванні до нижньої площини основи 1 оргскла;

h_{max} – максимальна висота підйому рідини по капіляру;

$h_{кан}$ – висота капілярного підйому (висота «вільного просочення»);

$h_{к.о.}$ – висота підйому рідини у капілярі відносно нижньої площини основи 1 оргскла;

$\delta_{пл}$ – товщина основи 1 з оргскла;

h – поточна висота підйому рідини у капілярі відносно дзеркала ванни;

L_{min} – мінімальна відстань між нижнім торцем капіляра 3 та поверхнею випромінювача 5;

L_{max} – максимальна відстань між нижнім торцем капіляра 3 та поверхнею випромінювача 5.

Порядок виконання роботи

1) Одержати у інженера набір скляних капілярних трубок з різним діаметром отворів $d_{\text{кап}}$, а також закріплені на пластині відповідні короткі зразки скляних капілярних трубок.

2) Установити металеву пластину з короткими зразками скляних капілярних трубок на предметному столику мікроскопа і з його допомогою визначити діаметри капілярних отворів в трубках. Результати вимірювань занести до табл. 20.

3) Один скляний капіляр з одержаного в інженера набору встановити в пристосування для закріплення капілярної трубки так, щоб його торець торкався поверхні одного з випромінюючих елементів 2 (див. рис. 17) ультразвукової ванни. При цьому повинні співпасти мітки на капілярній трубці і відліковій шкалі пристрою для регулювання положення капілярної трубки.

4) За допомогою мірної ємності в ультразвукову ванну налити приблизно 2 л води.

5) За допомогою пластмасової лінійки визначити відстань від рівня рідини в ванні до її верхньої площини основи з оргскла $h_{\text{ж}}$ (див. рис. 17, а).

6) При вимкненому генераторі визначити висоту підйому рівня рідини в капілярі, зменшуваного до значення $h_{\text{кап}}$, викликаного дією капілярного тиску.

7) Подати ультразвукові коливання в рідину ультразвукової ванни шляхом установки тумблера 3 на генераторі 1 у верхнє положення. При цьому повинна загорітися сигнальна лампочка і з'явитися робочий звук кавітуючої рідини. Про появу кавітації можна судити за утворенням на перетворювачах ванни найдрібніших рухомих бульбашок.

8) Оцінити рівень підйому рідини $h_{\text{к}}$ (рис. 17, а) в капілярній трубці по нанесеній на ній шкалою. Ціну поділки шкали визначити, оцінивши відстань між двома сусідніми штрихами на капілярі за допомогою відлікової шкали пристосування 3 (див. рис. 10). Через хаотичний характер закривання бульбашок в кавітаційній області рівень підйому рідини в капілярній трубці буде **постійно змінюватися**. Тому за значення рівня рідини слід приймати максимально спостережуваний рівень підйому рівня рідини протягом **20 с** роботи ультразвукового генератора.

9) Висоту підйому рідини в капілярі під дією кавітації $h_{\text{узк}}$ визначити за формулою:

$$h_{\text{узк}} = h_{\text{ж}} + h_{\text{к.о.}} - h_{\text{кап.}}$$

Результати спостережень занести до табл. 20.

10) Повторити п.п. 7-10 для нового положення скляного капіляра.

11) Вимкнути живлення ультразвукового генератора 1 за допомогою тумблера 3. За допомогою пристрою для регулювання положення капілярної трубки відвести торець скляного капіляра 2 (див. рис. 11) на відстань **2 мм** від поверхні випромінюючого елемента 2 (див. рис. 10) ультразвукової ванни. Для цього необхідно перемістити положення мітки на капілярній трубці по відліковій шкалі пристрою на два ділення шляхом підйому капілярної трубки в спрямовуючому пазу пристрою.

12) Повторити п.п. 7-10 для нового положення скляного капіляра.

13) Пункти 7-10 повторювати до моменту виходу торця капілярної трубки з кавітаційної зони, що можна визначити по зниженню рівня підйому рідини в капілярі до значення $h_{\text{кап}}$, що спостерігається при вимкненому генераторі ультразвукових коливань. По відстані L між торцем капілярної трубки і випромінюючою поверхнею перетворювачів зробити висновок про розміри зони активних кавітаційних процесів.

14) Аналогічним чином, регулюючи розташування пристрою 3 (див. рис. 11) над ультразвуковою ванною 1 (див. рис. 10), провести вимірювання рівня підйому рідини в капілярі для двох випромінюючих елементів 2, що залишилися (див. рис. 10) ультразвукової ванни. Отримані дані внести в табл. 20.

15) Пункти 3-13 повторити, встановлюючи по черзі в пристосування 3 (див. рис. 11) капіляри, що залишилися з виданого набору.

16) Побудувати залежність висоти підйому рівня рідини $h_{\text{узк}}$ від значення L відстані між торцем капілярної трубки до випромінюючої поверхні перетворювачів.

Таблиця 20.

Залежність висоти підйому води в капілярі від зсуву торця капілярної трубки щодо випромінюючої поверхні при різних значеннях діаметра капілярної трубки

№ досліду	Діаметр капілярної трубки $d_{\text{кап}}$, мм	зсув торця капіляра L , мм	Висота підйому рідини $h_{\text{узк}}$ під дією ультразвуку, мм			
			випромінюючий елемент № 1	випромінюючий елемент № 2	випромінюючий елемент №3	середнє значення стовпців №№4-6
1	2	3	4	5	6	7
1						
1						
1						
1						
2						
2						
2						
2						
2						
2						
3						
3						

Наостанок поставте **ще один дослід**, що підтверджує існування ультразвукового капілярного ефекту.

На столі вертикально розташуйте магнітострикційний випромінювач (ванну), в яку налейте оброблювану рідину.

Виміряйте (мікроскопом) діаметр голки шприця і її довжину (лінійкою). На штативі закріпіть шприц з голкою, кінець якої опустити трохи нижче дзеркала ванни. Шток шприця витягніть з циліндра.

Після включення ультразвукового випромінювача і налаштування його в режим кавітаційного резонансу спостерігайте процес підйому рідини в голці шприця і в циліндрі шприця. Зафіксувати моменти часу, коли рідина почне надходити знизу в циліндр шприця і виливатися зверху з циліндра шприця.

Результати вимірювань занести до таблиці 21.

ПРОТОКОЛ № _____ від _____

Дослідження ультразвукового капілярного ефекту.

1. АПАРАТУРА: (застосовуване УЗ-обладнання та прилади, тип, марка, основні характеристики)
2. МАТЕРІАЛ: (тип, марка або склад рідкого середовища)
3. ЗРАЗКИ: (тип, розміри, кількість, метод виготовлення)
4. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ: (температура)
5. Результати випробувань:

Таблиця 21.

Рідке середовище	Діаметр голки шприця, мм (мкм)	Довжина голки шприця, мм	Об'єм циліндра шприця, мл	Час початку підйому рідини в циліндр шприця, с	Час початку підйому рідини з циліндра шприця, с
Середнє арифметичне значення					
Середнє квадратичне відхилення					
Коефіцієнт варіації					
Середнє арифметичне значення					
Середнє квадратичне відхилення					
Коефіцієнт варіації					

Випробування провів:

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Література

Базова

1. Кордикова Е. И. Композиционные материалы. Лабораторный практикум: учебн. пособ. для студентов специальностей «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов», «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» / Е. И. Кордикова. – Минск: БГТУ, 2007. – 76 с.
2. Yi Xiao-Su, Du Shanyi and Zhang Litong (eds.), “Composite Materials Engineering. Vol. 1. Fundamentals of Composite Materials,” Springer, Singapore, 2018.
3. V.V. Vasiliev and E.V. Morozov, “Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures,” 4th ed., Elsevier, 2018.
4. J.-P. Pascault and Roberto J. J. Williams (ed.), “Epoxy Polymers: New Materials and Innovations”, Wiley VCH, 2009.
5. P.K. Mallick, “Processing of Polymer Matrix Composites”, 1st ed., CRC Press, 2017.
6. A.R. Bunsell, “Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials” [Textbook], 1st ed., CRC Press, 2005.
7. Колосов О.Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах). Частина 1. Дослідження передумов направленої здійснення фізико-хімічної модифікації/Колосов О.Є. — К.: НТУУ “КПІ”, 2005. — 251 с.
8. Колосов О.Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах). Частина 2. Ефективні режими та обладнання для здійснення фізико-хімічної модифікації/О.Є.Колосов, В.І.Сівецький. — К.: НТУУ “КПІ”, 2006. — 196 с.
9. Колосов О. Є. Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / Колосов О. Є., Сівецький В. І., Панов Є. М. – К: НТУУ КПІ, 2010. – 220 с.
10. Колосов О.Є., Сівецький В.І., Панов Є.М., Мікульонок І.О., Клявлін В.В., Сідоров Д.Е. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації (монографія). К.: ВД «Едельвейс», 2012. - 268 с.
11. Сідоров Д.Е., Сівецький В.І., Колосов О.Є., Мікульонок І.О. Виробництво гофрованих полімерних труб (монографія). К.: ВД «Едельвейс», 2012. - 154 с.
12. Пристайлов С.О., Сівецький В.І., Мікульонок І.О., Колосов О.Є. Утилізація гумовмісних відходів. Основні шляхи і методи регенерації (монографія). К.: ВД «Едельвейс», 2012. - 80 с.
13. Колосов О.Є., Сівецький В.І., Колосова О.П. Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку (монографія з грифом НТУУ «КПІ»). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2015. - 295 с.

14. Колосов О.Є. Одержання високоякісних традиційних та наномодифікованих реактопластичних полімерних композиційних матеріалів (монографія з грифом НТУУ «КПІ»). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2015. - 227 с.
15. Колосова О.П., Ванін В.В., Колосов О.Є., Вірченко Г.А. Моделювання процесів виготовлення реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів (монографія з грифом НТУУ «КПІ»). К.: ВПК «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2016. – 164 с.
16. Сівецький В.І., Колосов О.Є., Сокольський О.Л., Івіцький І.І. Технології та устаткування для формування виробів з традиційних та інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів (монографія з грифом Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського) К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 120 с.
17. Колосова О.П., Ванін В.В., Колосов О.Є., Сівецький В.І. Моделювання процесів та обладнання для виготовлення реактопластичних матеріалів (монографія з грифом Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського) [електронне видання]. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 235 с. [електронне видання]. Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20533>
18. Колосов О.Є. Процеси та обладнання для одержання реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку (навчальний посібник). К.: НТУУ КПІ, 2015. - 247 с. (Лист МОНУ №1/11-12849 від 29.07.2014р.).
19. Колосов О.Є. Одержання реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.; електронне видання]. К.: НТУУ КПІ, 2016. - 198 с. Назва з екрана. – Доступ : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14442>
20. Колосов О.Є. Композиційні та наноматеріали [електронне видання] Затверджено Вченою радою КПІ імені Ігоря Сікорського як навчальний посібник для аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» (протокол №6 від 12.06.2017) [електронне видання] К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 224 с. – Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19767>
21. Колосова О.П., Ванін В.В., Колосов О.Є., Сівецький В.І. Ультразвукова обробка технологічної сировини полімерних композиційних матеріалів [електронне видання] Затверджено Вченою радою КПІ імені Ігоря Сікорського як навчальний посібник для аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» (протокол №6 від 12.06.2017) [електронне видання] К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 188 с.
Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20534>
22. Колосов О.Є. Технології композиційних матеріалів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», спеціалізацією – «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування»; спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів та виробів». Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім.

Ігоря Сікорського, 2018. – 86 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 19.04.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23464>

23. Колосов О.Є. Технології композиційних матеріалів. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування»; спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 255 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23448>

24. Колосов О.Є. Технології композиційних матеріалів: Самостійна робота студентів [Електронний ресурс] : навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування»; спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів» КПІ ім. Ігоря Сікорського; Електронні текстові данні. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 25 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №9 від 24.05.2018).

Назва з екрана. – Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23469>

Допоміжна

1. Киселев, М.Г. Ультразвук в технологии машино- и приборостроения: учебное пособие / М.Г. Киселёв, В.Т. Минченя, Г.А. Есьман. - Минск: Тесей, 2003. - 424 с.

2. Ультразвук / под ред. И.П. Голяминой. - М.: Сов. энцикл., 1979. - 400 с.

3. Басов, Н. И. Контроль качества полимерных материалов / Н. И. Басов, В. А. Любартович, С. А. Любартович. – Л.: Химия, 1977. – С. 36–44.

4. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века [пер. с англ.] / Харрис П. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.

5. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены / Раков Э.Г. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.

6. Kolosov A.E., Kolosova E.P., Vanin V.V., Anish Khan. Classical Thermoset Epoxy Composites for Structural Purposes: Designing, Preparation, Properties and Applications. In: Thermoset Composites: Preparation, Properties and Applications. Eds. Anish Khan, Showkat Ahmad Bhawani and Abdullah M. Asiri, 2018. Materials Research Forum LLC, Materials Research Foundations, 2018, 38. Pp. 260–299. doi: <http://dx.doi.org/10.21741/9781945291876-9>

7. Kolosov A.E., Kolosova E.P. Chapter 2. Functional Materials for Construction Application Based on Classical and Nano Composites: Production and Properties. In: Recent Developments in the Field of Carbon Fibers. Eds. Rita Khanna, Romina Cayumil. InTechOpen, 2018. – Pp. 9–31. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73393>

8. Kolosov A.E. Preparation of Reactoplastic Nano-Modified Polymer Composites. Part 5. Advantages of Using Nano-Modified Structural Carbon-Fiber Composites (A Review)*// Chemical and Petroleum Engineering. - 2017 – №1. – P. 1 - 5. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0259-0>
9. Simulation of nanomodified polymers testing by the electric capacitive method / V. Bazhenov, A. Protasov, I. Ivitskiy, D. Ivitska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. — Vol. 4. — №5(88). — P. 4—9. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/108460>
10. D.É.Sidorov, A.E.Kolosov, O.V.Pogorelyi, I.A.Kazak. Engineering Analysis of Thermal-Load Components in the Process of Heating of Pet Preforms// [Journal of Engineering Physics and Thermophysics](#). November 2018, Vol. 2, [Issue 2](#), pp. 1-5. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1768-1>
11. Sokolskii A.L., Kovalenko K.G., Sivetskii V.I., Kolosova E.P. Realization of the reverse problem of geometrical modeling in designing of die heads for the production of polymer products// Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii. – 2018. — No.2. — Pp. 109–114. <http://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2018/2/Sokolskii.pdf>
12. Yeromin A. V., Kolosov A.E. Modeling of energy effective solutions regarding the heating system and facade heat insulation during implementation of thermomodernization//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. №1/8 (91). – Pp. 49–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123021>
13. Sidorov D. E, Kolosov A.E., Kolosova E.P., Kazak I.A. Evaluation of kinematic parameters of process of gravitational stretch of billet for extrusion-blow molding of polymer product//Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. – 2018. – No. 3. – Pp. 105–112. <http://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2018/3/Sidorov.pdf>
14. A.E. Kolosov, G.A. Virchenko, E.P. Kolosova, S.L. Shambina. Simulation of the Parameters of an Ultrasonic Dosed Cavitator with Radiative Plate. Part 1. Analysis of Effective Technical Means of Ultrasonic Exposure and a Technique of Variant Structural-Parametric Design/Chemical and petroleum engineering. – 2018. – Vol. 54. – Nos. 7-8. – Pp. 531-541. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0513-0>
15. G.A. Virchenko, A.E. Kolosov, E.P. Kolosova, S.G.Virchenko. Simulation of the Parameters of Ultrasonic Dosing Device with Radiative Plate. Part 2. Optimization of Design and Technological Parameters // Chemical and petroleum engineering. – 2018. – Vol. 54. – Nos. 7-8. – Pp. 605-612. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0522-z>
16. V.V.Vanin, G.A.Virchenko, A.E.Kolosov and E.P. Kolosova, “Simulation of the parameters of ultrasonic dosing cavitation device with radiative plate. Part 3. Computer-Aided Variant 3D-Design,” Chemical and Petroleum Engineering, vol. 54 (9–10), pp. 694–700, 2019. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10556-019-00535-7>
17. Kolosov A.E., Kolosova E.P., Vanin V.V., Anish Khan. Chapter 25. Ultrasonic Treatment in the Production of Classical Composites and Carbon Nanocomposites. In: Nano Carbon And Its Composites: Preparation, Properties and Applications. 1st edition. Eds. Anish Khan, S. Mohammad Jawaid, Inamuddin, Abdullah

M. Asiri. - Woodhead Publishing (imprint of Elsevier). – 2019. – Pp. 733-780.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102509-3.00025-0>

18. Anish Khan, Fayaz Ali, Aftab Aslam Parwaz Khan, Kolosov A.E., Abdullah M. Asiri. Ion Exchange Materials and Their Applications. In: Development and Prospective Applications of Nanoscience and Nanotechnology. Bentham Science. 2018, Vol. 2, pp. 191-217.

<http://www.eurekaselect.com/164429/chapter/ion-exchange-materials-and-their-application>

19. Anish Khan, Aftab Aslam Parwaz Khan, Mohammed Omaish Ansari, Imran Khan, Kolosov A.E., Abdullah M Asiri. Chapter 8. Functionalized Graphene Aerogel: Structural and Morphological Properties and Applications. In: Functionalized Graphene Nanocomposites and Their Derivatives: Synthesis, Processing and Applications. Micro and Nano Technologies. Mohammad Jawaid, Rachid Bouhfid and Abou el Kacem Qaiss (Eds.). Bentham Publisher (imprint of Elsevier). 2019. Pp. 157-176. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814548-7.00008-8>

20. Kolosov A.E., Kolosova E.P. Short Review of Studies on Modeling of Technology and Technical Means Used for Production of Classical and Nanomodified Functional Polymer Composite Materials. International Journal of Engineering & Technology. 2018. - Vol. 7, No. 2.23. - Pp. 483-488.
<https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/15339/6349>

21. A.E. Kolosov, V.I. Sivetskii, E.P. Kolosova, D.E. Sidorov, I.I. Ivitskiy et al. Creation of Structural Polymer Composite Materials for Functional Application Using Physicochemical Modification (a Review). Advances in Polymer Technology, 12 p., vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3501456>

22. A.E. Kolosov, V.I. Sivetskii, E.P. Kolosova, D.E. Sidorov, I.I. Ivitskiy et al. Use of Physico-Chemical Modification Methods for Producing of Traditional and Nanomodified Polymeric Composites with Improved Operational Properties (a Review). International Journal of Polymer Science, 15 p., vol. 2019.
<https://doi.org/10.1155/2019/1258727>

23. Kolosov A.E., Kolosova E.P. Modification of Oligomers and Reinforced Polymeric Composites by Carbon Nanotubes and Ultrasonic. In: Dasgupta N., Ranjan S., Lichtfouse E. (eds). Environmental Nanotechnology. Vol. 3. Environmental Chemistry for a Sustainable World. Springer, Cham, 2020. - Pp. 89-116. Series Volume 27. doi: 10.1007/978-3-030-26672-1_3.

24. Kolosova O. Modeling of macro- and nanotechnologies of creation of polymer composites for functional purpose / O. Kolosova // In: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference “International Trends in Science and Technology”. RS Global Sp.z O.O., Warsaw, Poland, Vol.1, June 30, 2019, pp. 14 - 19. ISBN 978-83-954081-4-4

Інформаційні ресурси

Електронні ресурси з курсу «Технології композиційних матеріалів», а саме:

- навчальну програму дисципліни;
- робочу навчальну програму кредитного модуля;
- методичні вказівки до виконання лабораторних робіт;
- методичні вказівки до виконання самостійної роботи;
- розміщено за адресою <http://cpsm.kpi.ua/mr.html>, а також у електронному кампусі;
- web-site Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності» (Укрпатент) – <https://ukrpatent.org/uk>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1.

КОНСТРУКЦІЙНІ ТКАНИНИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

КОНСТРУКЦІЙНА СКЛОТКАНИНА Т-13



Рис. Д1.1. Склотканина конструкційна Т-13

Склотканина конструкційна Т-13, застосовується як для виготовлення склопластиків так і в ізоляційних цілях, і в якості обклашки для базальтових матів.

Технічні характеристики на конструкційні склотканини Т-13:

Товщина, мм: $0,27 \pm 0,03$.

Поверхнева щільність, г/м²: 285 ± 15 .

Щільність тканини, ниток/см:

основа – 16 ± 1 ; уток – 10 ± 1 .

Розривне навантаження, Н (кгс):

основа – 1960 (200); уток – 1274 (80).

Ширина, см: 100.

Вид переплетіння: Полотняне

Тип скла: «Е».

Конструкційні склотканини є одним з видів скловолокнистих матеріалів, які в якості армуючого матеріалу призначені для виготовлення склопластиків.

Конструкційні склотканини виробляються з алюмбосілікатного скла типу «Е» поверхневою щільністю від 210 г/м² до 850 г/м² з різною структурою переплетіння, необроблені, або попередньо просочені для поліпшеного взаємодії з поліефірними, епоксидними, фольмадегідними, епоксифенольними й іншими видами смол.

Склопластики на основі тканих матеріалів, у порівнянні з склопластиками на основі нетканих матеріалів, мають більш високі фізико-механічні властивості і застосовуються при виготовленні відповідальних деталей і конструкцій у всіх галузях промисловості: у виробництві деталей корпусів автомобілів, яхт, катерів, літальної техніки і їх декоративних елементів, різних конструкцій всіляких профілів, захисних покриттів, хімічних ємностей, апаратів, трубопроводів і т.д.

Склотканнина ТГ-430

Технічні характеристики на конструкційні склотканини ТГ-430 Р (92)



Рис. Д1.2. Склотканнина конструкційна ТГ-430

Товщина, мм: $0,28 \pm 0,03$.

Щільність, г/м²: 420 ± 20 .

Щільність тканини, ниток/см:

основа – 19 ± 1 , уток – 11 ± 1 .

Розривне навантаження, Н (кгс):

основа – 1000; уток – 600 (100).

Ширина, см: 110, 120, 130.

Вид переплетення: **Сатин 1/3**.

Тип скла: «Е».

Замаслювач: 302Р – забезпечує хорошу взаємодію з епоксидними і поліефірними смолами.

Кремнеземна тканина КТ-11-13 /КА-600

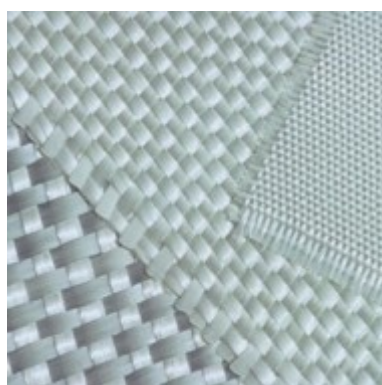


Рис. Д1.3. Склотканнина конструкційна КТ-11-13 /КА-600

Кремнеземна тканина КТ-11-13/КА-600 (92):

Щільність: 600 г/м².

Робоча температура, °С (F): 1100 – 1200 (2000 – 2200).

Вміст аморфного SiO₃, %: 95 – 99.

Лінійна усадка, не більше, %: 7–8.

Питомий електричний опір, Ом·см: 1017 – 1018.

Діаметр волокна, мкм: 6 – 9.

Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К:

при 100 °С – 0,04; при 600 °С – 0,16; при 1000 °С – 0,34.

У позначенні марки кремнеземної тканини букви і цифри означають:

КТ – тканини кремнеземні,

11 – скло № 11,

13 – водно-емульсійний замаслювач № 13,

ТО – тканина термооброблена,

ТОА – тканина термооброблена і апретована,

С8/3 – переплетення тканини – сатин 8/3.

Кремнеземні матеріали мають чудові високотемпературні, теплоізоляційні та теплозахисні властивості. Застосовуються в багатьох галузях промисловості. Дані матеріали служать відмінним тепловим бар'єром і найкращим з наявних засобом захисту від пожеж і впливу теплової енергії при технологічних процесах, пов'язаних з високими температурами.

Кремнеземні матеріали мають низьку теплопровідність, високу стійкість до теплового удару і підвищеної радіації. Мають чудові електроізоляційні властивості при високих температурах і підвищеній вологості, можуть тривалий час використовуватися при температурі 1000 С і короткочасно при більш високих температурах.

Вироби з кремнеземного скла надзвичайно інертні до більшості хімічних реагентів, стійки до органічних і мінеральних кислот будь-яких концентрацій навіть при підвищеній температурі (за винятком плавикової, фосфорної, соляної), а так само до слабких лугів розплавлених металів (крім Mg, Na, Si) і сплавів. Мають високу хімічну стійкість до води і пару високого тиску, здатні поглинати вологу, але не розщеплюються в присутності води, стабільні в вакуумі.

Кремнеземні матеріали є прекрасною заміною азбесту, вони працюють при більш високих температурах і не є небезпечними для здоров'я людей, пов'язаних з їх використанням.

Кремнеземні сітки застосовуються в якості високоефективного фільтрувального матеріалу для очищення розплавів чорних і кольорових металів при їх заливанні в ливарні форми.

Кремнеземні тканини є чудовою високотемпературостойкою теплоізоляцією і теплозахистом. Застосовуються в якості високотемпературної вологостійкої електроізоляції проводів, високотемпературних матеріалів кислото- і вологостійкого наповнювача композиційних матеріалів, а також для виготовлення текстильних і трикотажних теплостійких виробів, для прошивки теплоізоляційних матеріалів.

Кремнеземні тканини застосовуються в якості високотемпературної ізоляції теплозахисту і електроізоляції для різних галузей техніки, а саме: для вогнетривких підкладок, прокладок і покривал, що захищають від бризок розплавленого металу і ядерного випромінювання, в якості наповнювача для композиційних матеріалів, для виготовлення фільтрів, які застосовуються при очищенні агресивних середовищ.

Базальтова тканина ТБК-100П-КВ12 (100). ГОСТ 59987361-009-2008.

Рис. Д1.4. Склотканина конструкційна ТБК-100П-КВ12

Усі базальтові тканини застосовуються в якості термоізоляції при проведенні зварювальних робіт, як обкладка для теплоізоляційних матів. Робоча температура даного матеріалу досягається до 850 °С. Екологічна чистота вихідного матеріалу – базальту – чудово замінює азбестові, кремнеземні й інші тканини в багатьох областях застосування. Тканини з базальту виробляються з однокомпонентної сировини і мають ряд унікальних властивостей, серед яких:

- не є канцерогенними на відміну від азбестових тканин;
- один з найкращих теплоізоляторів;
- висока термостійкість, негорючість, температура постійного застосування – 800 °С;
- висока стійкість до лужних і кислотних середовищ;
- матеріал вібростійкий, може використовуватися для ізоляції турбін;
- не піддається впливу мікроорганізмів і цвілі;
- привабливі кольори (в основному від жовто-коричневого до темно-коричневого).

Базальтова тканина – відмінний ізоляційний, армуючий і фільтруючий матеріал. Основні фізико-механічні показники базальтових тканин наведено у табл. Д1. Для тканини ТБК-100 переплетіння - полотняне.

Табл. Д1

Показники базальтових тканин

Марка тканини	Ширина, см	Товщина тканини, мм	Маса одиниці площі, г/м ²	щільність тканини, Н/см		Розривне навантаження, Н, не менше		Масова частка замаслювача, %, не більше:		
				по основі	по вутку	по основі	по вутку	на прямих прямих замаслювачах-	на замаслювачі «парафинова емульсія»	на апретованих тканинах
БТ-11П	100+2(-1)	0,27±0,03	380±25	18±1	9±1	1430 (146)	1300 (133)	≤ 0,4	≤ 2	≤ 0,5
БТ-13	100+2(-1)	0,22±0,03	280±20	16±1	8±1	1425 (145)	784 (80)	≤ 0,4	≤ 2	≤ 0,5
ТБК-100	100+2(-1)	0,19±0,02 5	210±20	10±1	8±1	784 (80)	784 (80)	≤ 0,4	≤ 2	≤ 0,5

ТБК-100 розшифровується так:

ТБ – тканина базальтова, К – для застосування в якості конструкційних матеріалів при виробництві базальтопластиків, при виробництві бітумно-полімерних рулонних покрівельних матеріалів, а також в будівельній галузі.

Їх використовують для захисту різних високотемпературних трубопроводів, димарів, в якості ефективної теплоізоляції. Вони досить зручні в розкрої і прості в укладанні. Використання базальтових тканин в якості армуючого шару істотно підвищує несучу здатність і каркасної конструкції.

Хімічна стійкість базальтових тканин дає можливість їх застосування та експлуатації в різних агресивних середовищах. Вібростійкість базальтового полотна дозволяє застосовувати його в різному енергетичному та промисловому обладнанні. Екологічна безпека – відсутність виділення в навколишнє середовище шкідливих речовин забезпечує перевагу використання базальтових тканин в санітарних приміщеннях. Стійкість до біологічного впливу (розкладання) базальтового полотна дає можливість використання в біоагресивних середовищах.

Умови зберігання матеріалу: базальтові тканини повинні зберігатися в заводській упаковці в критому приміщенні. Рулони тканини повинні бути укладені паралельно один одному. Гарантійний термін зберігання тканини - 2 роки з дня виготовлення (при дотриманні необхідних умов зберігання).

ДОДАТОК 2.

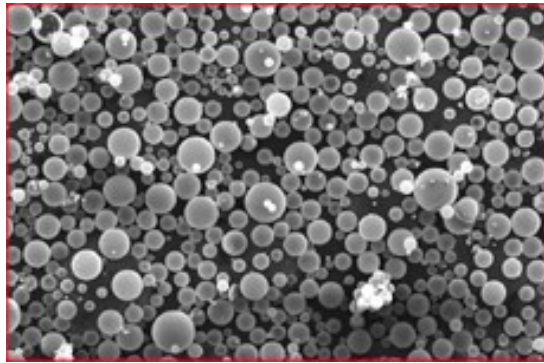
**ДИСПЕРСНІ ВОЛОКНИСТІ НАПОВНЮВАЧІ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.****МІКРОСФЕРИ АБО СКЛОКРИСТАЛІЧНІ АЛЮМОСИЛІКАТНІ
ШАРИКИ.**

Рис. Д2.1. Мікросфери

Алюмосилікатні мікросфери – складова частина золи виносу, що виробляється на ТЕЦ, які працюють на кам'яному вугіллі. Однак існує і технологія виробництва скляних кульок з товченого скла, але такий продукт коштує в 2-4 рази дорожче. Мікросфери представляють собою порожнисті склокристалічні кульки правильної форми і, найголовніше - гладкої зовнішньої поверхні. Діаметр мікросфер варіюється від 5 мкм до 3000 мкм.

Сферична форма мікросфер різко дозволяє зменшити споживання смоли, а значить, й рідкої складової, і в наслідок цього знизити усадкову деформацію. Ну і природно, знизити матеріальні витрати. Завдяки своїй формі і гладкій поверхні цей матеріал характеризується високим розтіканням. Мікросфери є порожнистими, а шпаклівка на їх основі дуже легко шліфується. При своїй легкості (близько 25% щільності інших наповнювачів) мікросфери мають достатню міцність, значить, вагу виробу на їх основі можна зменшити на 50-60%. Це дуже актуально в авіамоделюванні, здійсненні тюнінгу, в будівництві яхт і човнів.

Основні характеристики мікросфер:

- ◆температура плавлення 1200-1600 °С;
- ◆мала питома вага;
- ◆висока міцність;
- ◆низька усадка;
- ◆легкість в обробці;
- ◆хімічна інертність;
- ◆вільне розтікання;

- ◆низька теплопровідність;
- ◆стійкість до корозії;
- ◆екологічність.

Мікросфери також застосовуються у виробництві надлегких бетонів, штукатурок, шпаклівок, пластмас, поліуретанів, вогнетривких й звукоізоляційних матеріалів, шин, ґрунтовок, наливних підлог і підлог, що самовирівнюються. Продукція, що має в своєму складі мікросфери, володіє легкістю, характеризується підвищеною зносостійкістю і високими термо-, - звукоізоляційними властивостями.

Посилання на ширшу характеристику мікросфер.

ДІОКСИД ТИТАНУ



Рис. Д2.2. Діоксид титану

Ще один широко використовуваний в хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості пігмент – це діоксид титану (титанові білила, двоокис титану, харчовий барвник E171). Так само, як і залізоокисні барвники, це неорганічний пігмент.

Чистий діоксид титану (TiO_2) - це безбарвна тверда кристалічна речовина. Незважаючи на безбарвність, у великих кількостях діоксид титану надзвичайно ефективний як білий пігмент, якщо він добре очищений. TiO_2 практично не поглинає ніякого падаючого світла у видимій області спектра. Світло або передається, або переломлюється через кристал, або ж відбивається на поверхнях. TiO_2 - це стабільна (сама стабільна з усіх відомих білих пігментів), нелетка, нерозчинна в кислотах, лугах і розчинах за нормальних умов речовина.

Двоокис титану відрізняється високою реакційною стійкістю до різних сполук, у тому числі і до токсичних, що містяться в повітряному середовищі. Через свою інертність, діоксид титану не токсичний і, загалом, вважається дуже безпечною речовиною. Він може контактувати з продуктами в упаковці, а в певних концентраціях його можна використовувати і як харчовий барвник.

Діоксид титану не розчиняється у воді і розбавлених мінеральних кислотах (крім плавикової) та розбавлених розчинах лугів.

Пігментний діоксид титану існує в двох формах - анатазній і рутильній та виробляється за двома технологічними схемами: сульфатним і хлорним способами. Обидві форми можуть бути зроблені будь-яким із цих способів.

Температура плавлення для рутилу – 1870 °С (за іншими даними – 1850 °С, 1855 °С).

Температура кипіння для рутилу – 2500 °С.

Щільність при 20 °С:

для рутилу – 4,235 г/см³;

для анатаза – 4,05 г/см³ (3,95 г/см³);

для брукіта – 4,1 г/см³.

Температура розкладання для рутилу – 2900 °С.

Діоксид титану застосовується у виробництві;

- ◆пластика (металопластикові вікна, вагонка, підвіконня);
- ◆лікарських засобів, мила і косметичних препаратів;
- ◆ламінованого паперу;
- ◆акрилових, емалевих та емульсійних фарб;
- ◆лінолеуму і гумотехнічних виробів;
- ◆термостійкого і оптичного скла;
- ◆сухого молока і швидких сніданків;
- ◆цукру-рафінаду, жувальної гумки;
- ◆кераміки і багатьох інших виробів та продуктів.

Діоксид титану також використовується в якості наповнювача.

ГРАФІТОВИЙ ПОРОШОК



Рис. Д2.3. Графітовий порошок

Полімерні композитні матеріали з використанням графіту.

Графітові порошки широко використовуються в полімерних композитах, окремо або в поєднанні з армуючими волокнами, а також в різних неорганічних наповнювачах і сумішах, наприклад, із слюдою, тальком. Такі композитні матеріали з графітом володіють властивостями сухого ковзання, ущільнення (які важливі в автомобільних і мікро-механічних запасних частинах та комплектуючих).

Властивості графіту, які сприяють його використання в полімерних композитних матеріалах:

- низький коефіцієнт тертя за рахунок лускатої структури графіту в складі композиту, особливо на зовнішніх частинах твердої речовини композитного матеріалу (зменшує тертя);
- тенденція до утворення плівки переходу на спряженої поверхні (допомагає в зниженні зносу, зокрема, коли графіт застосовується у виробництві як дисперсія на водній основі);
- висока теплопровідність (зменшується підвищення температури при терті);
- електропровідність (запобігає накопиченню статичного заряду, який може бути проблемою в деяких випадках);
- хімічно інертний (використовується в поєднанні з активними речовинами і в агресивних середовищах);
- висока термічна стабільність (на користь використання в умовах високих температур, наприклад, полііміда, де графітові композити можуть бути використані до 350 °C).

Композитними матеріалами з використанням графіту, є наприклад полістирол і поліамід.

У випадку полістиролу, додавання крупнокристалічного графіту високої чистоти приводить до зниження тертя і інтенсивності зношування. У поліаміді при додаванні графіту знижується коефіцієнт тертя, але викликає деяке збільшення швидкості зносу. Проте з використанням графіту у вигляді порошку з розміром дрібніших частинок виходить кращий результат. У разі поліетилену низької щільності і поліпропілену, введення графіту викликає збільшення тертя і зносу, але дані показники залежать від вибору розміру часток.

Вважається, що збільшення зносу полімерних композитних матеріалів пов'язані з силою зчеплення на поверхні полімеру і графіту, яка залежить від змочуваності порошку. Також це може залежати від властивостей конкретного полімеру, відношення площі поверхні графітового порошку до його об'єму і хімічної взаємодії поверхонь. Простіше кажучи, полістирол показує сильне з'єднання до поверхні графіту, в той час як поліолефіни володіють слабким з'єднанням. При цьому міжфазне зчеплення зростає зі зменшенням розміру частинок графіту.

З цієї причини відносно тонкі порошки графіту ($95\% < 15 \text{ мкм}$) рекомендуються для термопластів. Термореактивні полімери набагато менш чутливі до наповнювачів і полімерних взаємодій. Також можуть бути використані і більш грубі порошки графіту (як правило, $95\% < 75 \text{ мкм}$) в залежності від типу полімерного матеріалу. Для термопластів, в'язкість полімерного розплаву з графітом в екструзії/формуванні буде також залежати від розміру часток графіту,

які повинні бути відповідні технології. Площа поверхні частинок графіту так само сильно впливає на якість композитного матеріалу. Наприклад, надмірна крупність частинок графіту може призвести до утворення пустот в кінцевих композитах у результаті десорбції парів з гарячого розплаву.

Як правило, висока чистота графіту більш бажана, щоб мінімізувати знос і поліпшити властивості композитних матеріалів, хоча цей параметр може бути не пріоритетним в присутності абразивних наповнювачів (скловолокна, вуглецевого волокна, окремих армуючих компонентів і добавок).

АЛЮМІНІЄВА ПУДРА (МЕТАЛІК, СЕРЕБРЯНКА)



Рис. Д2.4. Алюмінієва пудра (металік, сріблянка)

Алюмінієва пудра ПАП-2 для застосування в якості пігменту, що утворює блискучу поверхню, в фарбах, емалях, гумових клеях, а також як газоутворювач для пористих бетонів.

Склад. Пудра ПАП-2 представляє з себе порошок шаруватої структури - лусочки. Пудра алюмінієва ПАП - це подрібнений металевий порошок, частинки якого мають пластинчасту форму. Кожна така мікроскопічна пластинка покрита шаром оксиду і жиру.

Виготовляється з первинного алюмінію методом розмелювання в кульовому млині. На вигляд це порошок, який має сіро-сріблястий колір, легко мажеться. Він однорідний: в ньому не повинні бути помітні на око більші частки.

Щільність матеріалу складає близько $0,15 - 0,3 \text{ г/см}^3$. У ньому міститься 85 - 93% активного алюмінію.

Застосування алюмінієвої пудри ПАП-2: Пігментна пудра з алюмінію головним чином застосовується як компонент барвників. Це пігмент для виробництва фарб, емалей, гумових клеїв, що утворюють при нанесенні блискучу поверхню, газоутворювач для пористих бетонів.

Алюмінієва пудра може входити до складу корозійно-захисних, світловідбивних, декоративних, термостійких та інших емалей, фарб, лаків і шпаклівок;

як газоутворювальна добавка до пористого бетону (додається в кількості 0,1-0,2% від ваги самого бетону);

пудра з алюмінію має високу температуру згоряння, що робить даний матеріал привабливим для виготовлення пороху, феєрверків, вибухових пакетів;

це один з головних інгредієнтів «сріблянки», добре відомої всім фарби, що забарвлює поверхні в красивий і блискучий металік;

якщо нанести пудру на металеві конструкції, які постійно піддаються впливу температур до 450 °С, то це зробить їх більш жароміцними;

пудра включається до складу наливних покрівель, забезпечуючи хороші світловідбиваючі якості;

використовуючи даний матеріал при виробництві цегли, одержують жаростійку цеглу.

АЕРОСИЛ



Рис. Д2.5. Аеросил

Фізико-хімічні властивості аеросилу (діоксиду кремнію)

Аеросил (від латинського слова - Aerosilum), оксиди (від латинського слова - Oxylum) кремнію діоксид, *Silica colloidalis anhydrica* (Ph. Eur.), *Colloidal silicon dioxide* (USP), *Colloidal anhydrous silica* (BP), *Silica* (CAS № 7631- 86-9) - аморфний діоксид кремнію безводний, що відноситься до групи синтетичних активних високодисперсних мінеральних наповнювачів.

У фармації аеросил (діоксид кремнію) використовується як допоміжна речовина, стабілізатор, гелеутворювач, адсорбент, покращує плинність таблетованих, мазевих, гелевих та інших сумішей. Іноді діоксид кремнію використовується як активний фармакологічний інгредієнт (має бактерицидні властивості, детоксикант, сорбент).

Одержують діоксид кремнію шляхом гідролізу парів кремнію тетрахлорида в полум'ї водню при температурі $> 1000^{\circ}\text{C}$ ($1100-1400^{\circ}\text{C}$). Одержаний продукт - білий, аморфний, непористий, індиферентний порошок, що розпорошується, містить 99,3% SiO_2 ; має високу дисперсність (діаметр частинок 4-40 мкм, мають сферичну або майже сферичну форму), питома адсорбційна поверхня становить 50-450 $\text{м}^2/\text{г}$; насипний об'єм приблизно 50 г/л, щільність - 2,36 $\text{г}/\text{см}^3$; рН водної суспензії - 4,0; показник заломлення $n_{20D} = 1,46$.

Аеросил не розчиняється у воді, кислотах і розбавлених лугах. При концентрації аеросилу в воді в кількості 10-12% утворюється малов'язка текуча суспензія, при 17% - полужорстка маса, при 20% - крупчаста, яка при розтиранні перетворюється в гомогенну мазеподібну масу. У зв'язку з великою спорідненістю до води аеросил відносять до гідрофільних речовин. Зате діоксид кремнію (аеросил) марки R972 має гідрофобні властивості.

Існує кілька торгових марок аеросилу (діоксиду кремнію), які розрізняються в основному за величиною питомої поверхні, ступенем гідрофільності або гідрофобності, а також наявністю інших речовин-наповнювачів. Згідно з визначенням номенклатурної комісії, аморфний діоксид кремнію отримав назву оксиду. В Україні хіміко-металургійним комбінатом за ліцензією фірми «Degussa» виробляються немодифікований стандартний аеросил марок 175; 300 380 з гідрофільною поверхнею; метілаеросил АМ-1/175 і АМ-1/300, модифікований диметилдіхлорсиланом; ефіроорганосил марок АДЕГ-175 і АДЕГ-300, модифікований етиленгліколем і диетиленгліколем, і АМ-2, модифікований аміноспирт.

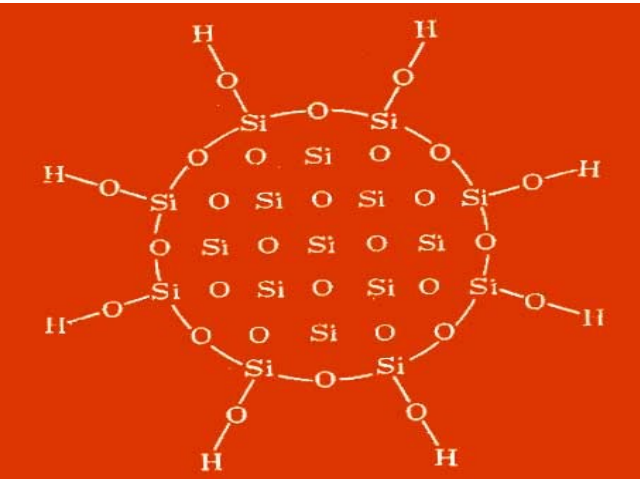
У США виробляють модифікований аеросил - Органосил і кебосил (фірма «Cabot»), в Росії - бутосил, аеросил-К, який становить поєднання 85% діоксиду кремнію і 15% крохмалю, аеросил марки СОК-84, який є коагулянт 85% діоксиду кремнію і 14% оксиду амонію. У Німеччині фірма «Degussa» виробляє гідратовані марки аеросилу, що містять зв'язану воду (дуросил, вулкасін, сіфлоркс, ультрас й ін.), які відрізняються вмістом SiO_2 , діаметром частинок, щільністю і властивостями), аеросил у вигляді суспензій (К-314, містить 14% Аеросилу, К-328, містить 28% Аеросилу).

В Японії виробляють мікросил і носил, у Франції - Франсил, в Англії - Маносил. Для косметики може вироблятися у вигляді пасти. Нещодавно аеросил внесений до фармакопеї різних країн (Угорщини, Данії, Австрії та ін.). У США діоксид кремнію (аеросил) дозволений також як добавка до харчових продуктів у кількості 2%.

Аеросил відносять до теорії «чистих» речовин, які вивільняють активні інгредієнти без витрати енергії. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що кожна основна частка аеросилу складається з чотирьох окремих шарів (рис. Д.2.6).

Ядро цієї частки є тривимірним полімером з елементів SiO_2 . Маючи на поверхні частинок Сілан Si-OH і силосанові Si-O-Si групи, аеросил здатний за рахунок водневих зв'язків створювати узороподібний каркас, що дозволяє обмежувати температурне розширення загущеної рідини. Силосанові і силанові групи в аеросилі є функціональними, а зв'язок «кремній — кисень» характеризується високою міцністю (досягає 372,5 Дж/моль), що пояснюється його полярністю, завдяки якій ковалентний зв'язок наближається до іонного зв'язку.

Таблиця Д.2.1. Основні властивості діоксиду кремнію (аеросилу)

Структура аеросилу (сегмент основної ділянки)	Опис	Реакція на підвищення температури
	незв'язана вода	Звільняється при 105 °С
	пов'язана вода	Звільняється при 105 – 200 °С
	Групи SiOH на поверхні кремнезему	Перетворюється в силосанові групи при ≥ 200 °С $2\text{SiOH} = \text{Si-O-Si} + \text{H}_2\text{O}$
	ядро кремнезему	$T_{\text{пл}} 1700$ °С

Сіланолові групи розподілені нерівномірно. Розрізняють поверхневі силанові групи, які можуть бути вільними або з'єднаними водневими містками, і силанолі групи всередині молекули, яких також можуть бути з'єднані між собою водневими містками. В результаті створюється розгалужена об'ємна структура, в результаті чого аеросил відносять до неорганічних полімерів.

Силосанові групи мають гідрофобні властивості, вони стабільні (ОН сіланолової групи відщеплюються при температурі > 300 °С), обумовлюють кислу реакцію; мають гідроксильні групи як на поверхні, так і всередині молекули аеросилу. При рівномірному розподілі кожен другий атом кремнію має гідроксильну групу на поверхні.

Це і обумовлює три види взаємодії аеросилу: фізичну адсорбцію, хімічну адсорбцію (утворення водневих містків групами силанолу з водою, спиртами, кислотами та іншими речовинами) і хімічні реакції на поверхні молекули. Так, групи силанолу взаємодіють зі спиртами, утворюючи ефіри.

Аеросил (діоксид кремнію) має хороші сорбційні властивості, поглинає від 15 до 60% різних рідин в залежності від їх природи, не змінюючи зовнішнього вигляду і сипучості порошку. Перший шар води абсорбується аеросилом за рахунок створення водневих містків (хімічна адсорбція), а наступні шари - за рахунок фізичної адсорбції. Фізично адсорбована вода вивільняється при температурі 25-150 °С, тоді як хімічно адсорбована - при 800 °С.

Аеросил, який використовується для виробництва ліків, повинен мати високу чистоту. У таблиці Д.2.2 наведено хімічний склад різних торгових марок аеросилу, які можуть мати певні домішки, що утворюються при виробничих процесах, наприклад, сліди соляної кислоти, яка викликає рН 4% водної суспензії полімеру (3,6 - 4,3). Отже, аеросил (діоксид кремнію) поводить себе як слабка кислота.

Таблиця Д.2.2. Хімічний склад різних марок аеросилу (в перерахунку на суху речовину, за М.М. Астрахановим)

Вміст, %	Марки аеросилу, склад, %				
	200; 300; 380	0	СОК84	R972	Комбінований
SiO ₂	> 99,87	> 99,8	82 – 86	> 98,3	85
Al ₂ O ₃	< 0,05	< 0,03	14–18	< 0,05	–
Fe ₂ O ₃	< 0,003	< 0,001	< 0,1	< 0,01	–
TiO ₂	< 0,03	< 0,02	–	0,03	–
Na ₂ O	< 0,0009	–	–	–	–
As	< 0,0001	–	–	–	–
B ₂ O ₃	< 0,003	–	–	–	–
Bi ₂ O ₃	< 0,0003	–	–	–	–
P ₂ O ₅	< 0,0005	–	–	–	–
HCl	< 0,025	< 0,025	< 0,1	–	0,05
Крохмаль	–	–	–	–	–

У таблиці Д.2.3 наведені найважливіші фізико-хімічні властивості різних марок аеросилу, які знайшли широке використання при виробництві ліків.

Таблиця Д.2.3. Фізико-хімічні властивості різних марок аеросилу

Показник	Марки аеросилу					
	200	300	380	0	СОК-84	R-972
Питома поверхня, м ² /г	200±25	300±30	380±30	200±25	170±30	120±30
Втрати при прожарюванні, %	1	2	2,5	1	1	2
Середній розмір частинок	12	7	7	12	–	16
Вміст вологи, % (висушений при 105 ° С)	–	1,5	1,5	1,5	0,5	2,5
Насичена маса, г/л, стандарт (непресований) пресований	≈ 60 ≈ 120					
Пористість	Пористий			Непористий		
pH 4% водної дисперсії	3,6 – 4,3		–	–	3,6 – 4,3 3,5–4,1 (в метанолі)	

У виробництві ліків аеросил використовують як стабілізатор суспензійних масляних лініментів. Володіє високою здатністю до адсорбції різних рідин. Додавання аеросилу до складу масляних і водно-спирто-гліцеринових суспензійних лініментів сприяє підвищенню седиментаційної, агрегаційної і агрегативної стійкості цих систем, створенню досить міцної просторової

структури, здатної утримувати в осередках іммобілізовані рідку фазу зі зваженими частками фармацевтичних субстанцій.

У водних і водно-спиртових суспензіях стабілізуюча дія аеросилу обумовлена головним чином електростатичними силами. Осідання частинок твердої фази в стабілізованих водно-спиртових суспензіях відбувається в 3 рази повільніше, ніж в нестабілізованих системах. Стабілізуюча дія аеросилу зростає при наявності невеликої кількості ПАР, наприклад, твіну-80.

Наявність аеросилу (в концентрації 1,0-5,0%) в емульсіях і суспензіях підвищує їх стабільність, здатність до кращої фіксації на шкірі і ефективність терапевтичної дії. З водою і спиртом діоксид кремнію в концентрації 3% створює каламутні суспензії, частки яких мають негативний заряд.

Однією з властивостей аеросилу є його загущувальна (загущувач) здатність (табл. Д.2.4).

Таблиця Д.2.4. Загущувальний ефект аеросилу-200

Рідина	Кількість аеросилу-200 (%), додана до одержання щільно-в'язко-пластичної маси
Риб'ячий жир	8–10
Вазелинове олія	8
Арахісова олія	10
Оливкова олія	8 – 10
Поліетиленгліколь 400	8
Цетиловий спирт	8 – 12
Гліцерин	8 – 10
Ванілін рідкий	8 – 12
Есилон-4	8

Ця властивість використовується для одержання аеросилвміщуючих гелів і мазевих основ, до складу яких входить аеросил. Як рідку фазу для їх композицій використовують поліетилсилоксанову рідину під назвою Есилон-5 або Есилон-4, риба́чий жир, ПЕГ-400, касторове масло, жирні олії тощо. Есилон-5, загущений 16% аеросилу, відомий як Вазелін КВ-Е/16. Він не подразнює шкіру, не перешкоджає всмоктуванню діючих речовин.

Як загусник рідкої фази використовують аеросил (діоксид кремнію) в кількості 8-16%. Одержані гелі мають м'яку пластичну консистенцію, добре розподіляються і фіксуються на шкірі. Вони мають хорошу колоїдну стабільність при підвищеній температурі ($\geq 40^{\circ}\text{C}$), зберігають необхідну консистенцію, яка не змінюється навіть при 100°C , а тому аеросилвміщуючі гелі та мазі можуть застосовуватися в умовах тропічного клімату.

За структурно-механічними властивостями гелі, до складу яких входить аеросил, складають тиксотропні пластичні термостабільні системи і мають антимікробну стійкість. Кількісний вміст аеросилу в системі впливає на реологічні і біофармацевтичні властивості гелів. Збільшення діоксиду кремнію в складі гелів призводить до зростання їх пластичної в'язкості і тиксотропних

властивостей. При цьому помітно сповільнюється вивільнення активного фармакологічного інгредієнта.

Застосування аеросилу (діоксиду кремнію) в медичній і ветеринарній фармацевтичній промисловості

У виробництві таблеток аеросил використовується в концентрації 0,1-0,5% як ковзуюча і зрихляюча (0,1-2,0%) речовина, що скорочує час їх розпаду, полегшує процес грануляції, покращує плинність таблетованої маси. Адсорбційні властивості аеросилу використовують у виробництві порошків, екстрактів та інших фармацевтичних препаратів.

Численними фармакологічними, токсикологічними та біофармацевтичними дослідженнями підтверджено, що аеросил при внутрішньому застосуванні індиферентний, добре переноситься хворими, має лікувальні властивості при захворюваннях шлунково-кишкового тракту та інших запальних процесах, може бути джерелом постачання кремнію в організмі. Є відомості про те, що аеросил (діоксид кремнію) може сприяти скороченню гладких м'язів і судин, а також має бактерицидні властивості.

Аеросилвміщуючі фармацевтичні системи не виявляють подразнюючої і токсичної дії. Такі ж властивості притаманні мазям при використанні есілона і аеросилу як основи (композиція есілона-5, загущена 15% аеросилом при виготовленні мазей з антибіотиками і кортикостероїдами). Мазі з аеросилом (діоксидом кремнію) легко видавлюються з туб, добре фіксуються на шкірі, мають пролонговану дію.

ДОДАТОК 3

СКЛАД І РЕЖИМИ ТВЕРДІННЯ РІДКИХ ПОЛІМЕРНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ

№ п/п	Смола (мас. ч.)	Прискорювач (мас. ч.)	Пластифікатор (мас. ч.)	Твердник (мас. ч.)	Твердіння
1	ЕД-20 100	-	-	ПЕПА (ТЕТА) 10	24 год
2	ЕД-20 100		ПН-1 20	ПЕПА 10-20	24 год
3	КЕ 100	ДБФ 20	—	ПЕПА 10	1 год
4	ЕД-20 (КЕ) 100	—	ПН-1 20	ТЕАТ 10	1,5–2 год при 100°C
5	КЕ 100	—	ПН-1 20	МА 20	5 год
6	ПН-1 100	НК 8–10	Гіпериз 3–5	—	1 год при 60°C
7	ПН-1 100	НК 0,4–0,5	ПМЕК 1	—	2–2,5 год при 20°C
8	ПН-1 100	НК-1 1–8	ПМЕК 3	—	2–2,5 год при 20°C
9	ФФС 100	—	—	МА 3	Ступінчасте: 1 год при 50–95°C; 90–110°C; 105–98°C

ДОДАТОК 4

ГУСТИНА РІДКИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

речовина	густина, г/см ³
Поліефірна смола (ПН-1)	1,148
Епоксидна смола (ЕД-20)	1,166
Компаунд епоксидний (КЕ)	1,314
Триетоламінотитанат (ТЕАТ)	1,370
Поліетиленполіамін (ПЕПА)	1,076
Гідроперекис ізопропілбензола (гірперіз)	1,060
Дибутилфталат (ДБФ)	1,042 – 1,049
Поліметілетілкетон (ПМЕК)	1,060
Нафтенат кобальту (НК)	0,920

ДОДАТОК 5

ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНОГО СКЛОПЛАСТИКУ

ТОВ "Завод ізоляційного устаткування" пропонує наступні марки склопластику:

- - СПП-ЕІ-Т (електроізоляційний)
- - СПП-ЕК (кабельний)

Склопластик профільний є стрижнями заданого профілю (круглого перетину), виготовлені методом безперервного протягання через формуючу фільтру рівінгу, попередньо просоченого зв'язуючим на основі епоксидних смол.

Для виробництва рівінг використовується безлужне алюмоборосілікатне скло «Е» щільністю **2,52-2,53 г/см³**.

Ровінги мають позначення "tex": вага 1 км рівінгу в грамах.

Основні характеристики продукції (склопластику) наведені нижче:

Параметр	Значення
фізична щільність	1850 – 2150 кг/м ³
руйнівне напруження при розтягуванні	700 – 1150 МПа
модуль пружності при розтягуванні	(0,35 – 0,4)10 ⁵ МПа
руйнівне напруження при поперечному вигині	800 – 1100 МПа
ударна в'язкість поперек волокон	280 кДж/м ²
питомий поверхневий електричний опір	1 x 10 ¹³ Ом
електрична міцність уздовж волокон	2 – 5 МВ/м
водопоглинання	0,03 %
робоча температура навколишнього середовища	0...+150 °С
стійкість до короткочасного нагрівання	+ 200 °С

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Мета та основні завдання лабораторних занять.....	4
Лабораторна робота №1. Знайомство з характеристиками та принципом роботи цифрового електронного фото-відеомікроскопа (на прикладі моделі «Supereyes B011 5mp 1000x Interchangeable Lens Digital Microscope Loupe Magnifier»). Мета та основні завдання лабораторних занять.....	6
Лабораторна робота №2. Елементарні волокна та визначення показників їх механічних властивостей.....	11
Лабораторна робота №3. Односпрямовані і ткані волокнисті наповнювачі та визначення їх структурних параметрів.....	16
Лабораторна робота №4. Дисперсні (порошкові) наповнювачі, їх властивості. Визначення вмісту вологи в дисперсних наповнювачах.....	21
Лабораторна робота №5. Термореактивні полімерні матеріали. Приготування зв'язуючого на основі термореактивних олігомерів.....	25
Лабораторна робота №6. Визначення умовної в'язкості і густини рідких термореактивних полімерних зв'язуючих, а також щільності затверділих епоксиполімерів.....	29
Лабораторна робота №7. Вивчення поведінки капілярно-пористих волокнистих матеріалів при просоченні.....	34
Лабораторна робота №8. Визначення вмісту скловолокнистого наповнювача в затверділому епоксидному склопластику.....	37
Лабораторна робота №9. Знайомство з характеристиками і принципом роботи ультразвукового обладнання (на прикладі ультразвукової ванни моделі «УЗУ-0,25».).....	40
Лабораторна робота №10. Дослідження ультразвукового капілярного ефекту.....	52
Список рекомендованих навчально-методичних матеріалів.....	59
ДОДАТКИ	65
Додаток 1. Конструкційні тканини та їх характеристики.....	65
Додаток 2. Дисперсні волокнисті наповнювачі полімерних композиційних матеріалів.....	70
Додаток 3. Склад і режими твердіння рідких полімерних зв'язуючих.....	81
Додаток 4. Густина рідких полімерних матеріалів.....	81
Додаток 5. Властивості електроізоляційного склопластику.....	82

Навчальне видання

Колосов Олександр Євгенович

ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка»,
спеціалізацією «Інжиніринг паковань та пакувального обладнання»,
за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування»,
спеціалізацією «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних
та будівельних матеріалів і виробів»
денної форми навчання*

практикум

Комп'ютерна правка та верстка – авторські